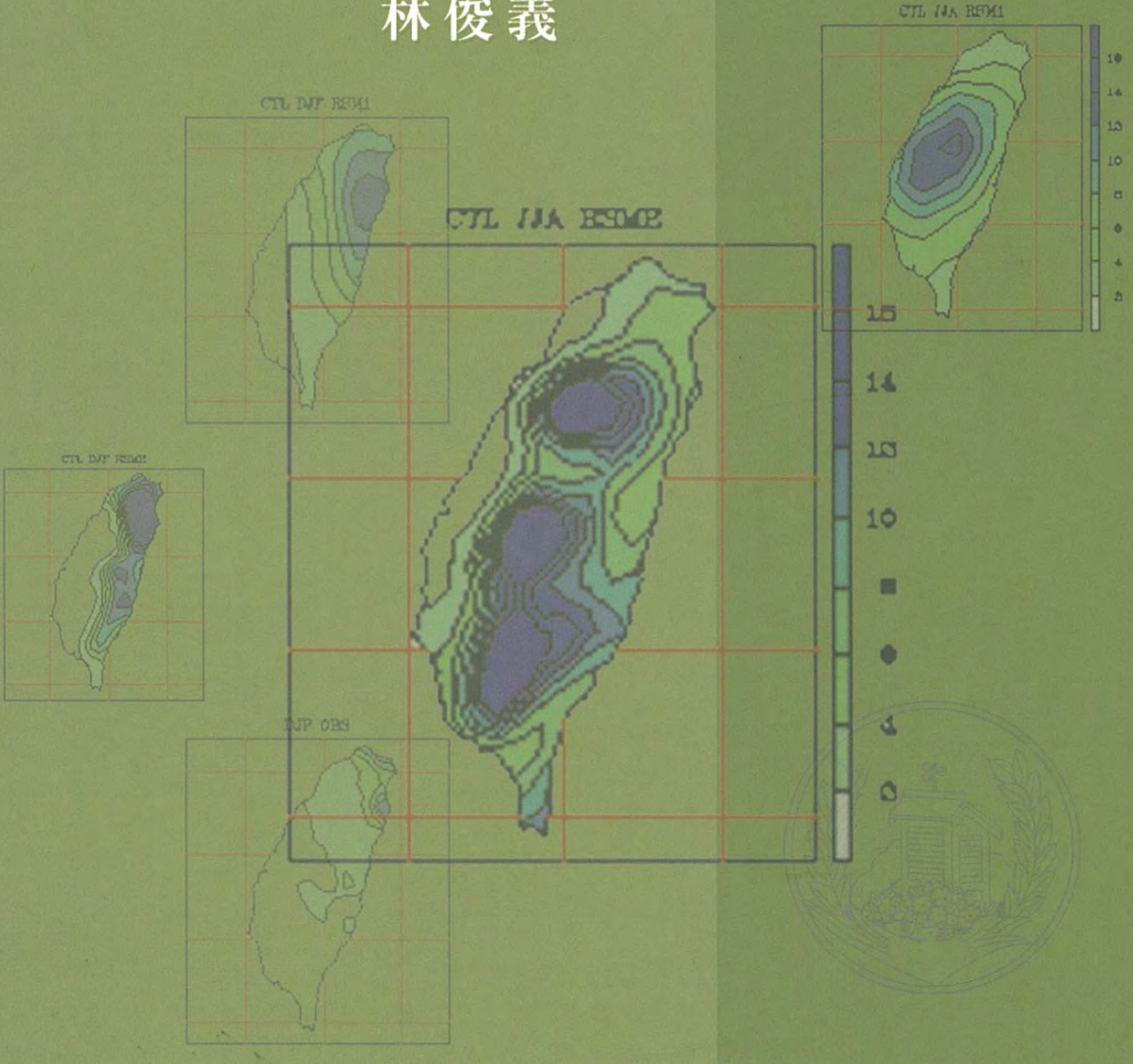
農業氣象及農業水資源之應用與管理

楊純明
林富雄　主編
林俊義



行政院農業委員會農業試驗所
行政院農業委員會高雄區農業改良場　出版
中華農業氣象學會

農業氣象及農業水資源之應用與管理

Agricultural Meteorology and Applications and Management of Agricultural Water Resources

ISBN 957-01-2649-3

農業氣象及農業水資源之應用與管理

楊 純 明
林 富 雄　主編
林 俊 義

本書收錄於2002年12月12日假國立臺灣大學農藝學系舉行之
「農業氣象及農業水資源之應用與管理研討會」發表之專題論述

行政院農業委員會中部辦公室經費補助

行 政 院 農 業 委 員 會 農 業 試 驗 所
行政院農業委員會高雄區農業改良場　出版
中 華 農 業 氣 象 學 會

中華民國九十一年十二月

ISBN 957-01-2649-3

Agricultural Meteorology and Applications and Management of Agricultural Water Resources

Editors

Chwen-Ming Yang, Ph.D.

Agronomist, Department of Agronomy

Taiwan Agricultural Research Institute

Fu-Hsiung Lin, Ph.D.

Director General, Kaohsiung District Agricultural Improvement Station

President, Chinese Society of Agrometeorology

Chien-Yih Lin, Ph.D.

Director General, Taiwan Agricultural Research Institute

Sponsored by

Central Office, Council of Agriculture

Published by

Taiwan Agricultural Research Insitute, COA

Kaohsiung District Agricultural Improvement Station, COA

Chinese Society of Agrometeorology

December, 2002

國家圖書館出版品預行編目資料

農業氣象及農業水資源之應用與管理 / 楊純明, 林富雄, 林俊義 主編. -- 初版. -- 臺中縣霧峰鄉 : 農委會農試所, 2002[民91]
184面 ; 21×29.7公分
含索引
ISBN 957-01-2649-3(精裝)
1. 農業氣象 - 論文, 講詞等 2. 水資源 - 管理 - 論文, 講詞等

432.107　　91021542

農業氣象及農業水資源之應用與管理

發行人 / 林俊義 (行政院農委會農業試驗所)
林富雄 (行政院農委會高雄區農業改良場/中華農業氣象學會)
編者 / 楊純明　林富雄　林俊義
出版者 / 行政院農委會農業試驗所
行政院農委會高雄區農業改良場
中華農業氣象學會
地址 / 臺中縣霧峰鄉 41301 萬豐村中正路 189 號 (農業試驗所/中華農業氣象學會)
屏東市 900 民生路農事巷 1 號 (高雄區農業改良場)
電話 / 農業試驗所 04-2330-2301　傳眞/農業試驗所 04-2333-8162
高雄區農業改良場 08-722-9461　高雄區農業改良場 08-723-4947
網址 / http://www.tari.gov.tw (農業試驗所)
http://www.kdais.gov.tw (高雄區農業改良場)
印刷廠 / 學安文化事業有限公司
臺中市南區仁和二街78號，電話: 04-2286-1600
出版年月 / 2002年12月
版次 / 初版
展售處 / 三民書局，臺北市重慶南路一段 61 號 02-2361-7511
國家書坊台視總店，台北市八德路三段 10 號 02-2578-1515 分機 643
五南文化廣場，臺中市中山路 2 號 04-2226-0330
新進圖書廣場，彰化市光復路 177 號 04-725-2792
青年書局，高雄市青年一路1 41 號 07-332-4910
售價 / 400元
統一編號(GPN): 1009104120
ISBN: 957-01-2649-3

Taiwan Agricultural Research Institute
Council of Agriculture
189 Chung-Cheng Road
Wufeng, Taichung Hsien 41301
Taiwan, Republic of China
Tel: +886-42-330-2301
Fax: +886-42-333-8162
Email: cmyang@wufeng.tari.gov.tw
Web site: www.tari.gov.tw

Kaohsiung District Agricultural Improvement Station
Council of Agriculture
1 Nung-Si Lane, Min-Sen Road
Pingtung, Pingtung Hsien 900
Taiwan, Republic of China
Tel: +886-8-722-9461
Fax: +886-8-723-4947
Email: fhlin@mail.kdais.gov.tw
Web site: www.kdais.gov.tw

Chinese Society of Agrometeorology
189 Chung-Cheng Road
Wufeng, Taichung Hsien 41301
Taiwan, Republic of China

Copyright © 2002 Taiwan Agricultural Research Institute/ Kaohsiung District Agricultural Improvement Station/ Chinese Society of Agrometeorology

All Rights Reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means: electronically, mechanically, by photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the copyright owner.

ISBN 957-01-2649-3
GPN 1009104120

Printed in Taiwan, Republic of China, by Shyue-An Press

目錄

作者 -- ix

序 -- xii

1 緒論
楊純明、林富雄、林俊義、鄧耀宗 -- 1

2 大氣溫室氣體加倍對臺灣區域氣候和水資源衝擊評析
吳明進、童慶斌、陳世欽 -- 9

3 中央氣象局突變天氣預報與颱風警報作業現況
陳來發 -- 25

4 臺灣的颱風、暴雨災害量化研究
吳瑞賢、蘇文瑞、廖偉民、張志誠 -- 37

5 民國九十年台灣地區氣候變化與農業氣象災害
廖志翔 -- 53

6 臺灣北部之少雨特性
徐森雄、李錦育 -- 69

7 田間蒸發散量之估測與應用
申雍 -- 85

8 作物耐旱原動力－滲透調節物
朱德民 -- 97

9 水稻深水灌溉與乾旱期的用水管理
甘俊二 -- 105

10 水分管理對水稻生育及米質之影響
陳世雄、李健捀 -- 115

11 塔塔加地區臺灣雲杉(*Picea morrisonicola*)光合作用之季節變化
翁仁憲、廖天賜、孫國筠、鍾基啓、 林宗平、徐鎮暉 -- 131

12 精準果園之水分管理－果園多功能自動灌溉噴霧系統在果樹產業上的應用
施昭彰 -- 143

13 農作物水分狀態及光譜遙測技術之利用
陳榮坤、楊純明 -- 157

名詞索引 -- 171

Contents

Contributors -- ix

Preface -- xii

1 **Introduction**
Chwen-Ming Yang, Fu-Hsiung Lin and Chien-Yih Lin ---------------------- 1

2 **The Impacts of Doubled Greenhouse Gases on the Regional Climate and Water Resource over Taiwan**
Ming-Chin Wu, Ching-Ping Tung and Shyh-Chin Chen ---------------------- 9

3 **An Introduction to the Operational Procedures of Severe Weather and Typhoon Forecasts/Warnings**
Kenneth Lai-Fa Chen -- 25

4 **Quantitative analysis disasters of typhoons(1946~2000) and heavy storms(1959~2000) in Taiwan**
Ray-Shyan Wu, Wen-Ray Su, Wei-Min Liao and Chih-Cheng Chang ----------- 37

5 **Climatic Variations and Agrometeorological Disasters around Taiwan in 2001**
Chih-Hsiang Liao -- 53

6 **Characteristics of Low Rainfall in North Taiwan**
Sen-Hsiung Hsu and Chin-Yu Lee ---------------------------------- 69

7 **Measurement/Estimation and Application of Field Evapotranspiration**
Yuan Shen -- 85

8 **A key factor regulating crop tolerance to water stress – osmotic regulator.**
Teh-Ming Chu -- 97

9 **Deep-water Irrigation in Rice and Water Management for Drying Period**
Chun-E. Kan -- 105

10 **Growth and quality of rice as affected by management of soil moisture**
Shih-Shiung Chen and Jiann-Feng Lee ------------------------------- 115

11 **Seasonal Variation in Photosynthesis of Picea morrisonicola Grown at Tatachia area of Taiwan**
Jen-Hsien Weng, Tien-Szu Liao, Kuo-Hu Sun, Chi-Ch Chung, Chung-Ping Lin and Chung-Hei Hsu -- 131

12 **Water Management in Precision Orchard— The Application of Multifunctional Automatic Spraying System in Orchard**
Jau-Chang Shih -- 143

13 **Crop Water Status and Applications of Spectral Remote Sensing**
Rong-Kuen Chen and Chwen-Ming Yang ---------------------------- 157

Index -- 172

作者

甘俊二 生物環境系統工程學系教授
國立臺灣大學

申雍 土壤環境科學系教授
國立中興大學

朱德民 農藝學系教授
國立中興大學

李健捀 作物改良課助理研究員
行政院農委會臺中區農業改良場

李錦育 水土保持學系教授兼系主任
國立屏東科技大學

吳明進 大氣科學學系教授
國立臺灣大學

吳瑞賢 土木工程學系教授
國立中央大學

林宗平 生命科學系
國立中興大學

林俊義 所長
行政院農委會農業試驗所

林富雄 場長
行政院農委會高雄區農業改良場

施昭彰 園藝組研究員
行政院農委會農業試驗所

徐森雄 水土保持學系教授兼學務長
國立屏東科技大學

徐鎮暉 生命科學系
國立中興大學

翁仁憲 生命科學系教授
國立中興大學

孫國芴 生命科學系
國立中興大學

陳來發 第三組（應用氣象組）組長
交通部中央氣象局

陳世欽 Scripps海洋研究所副氣象研究員
美國加州大學聖地牙哥分校

陳世雄 農藝學系教授
國立中興大學

陳榮坤 農藝組助理
行政院農委會農業試驗所

童慶斌 生物環境系統工程學系副教授
國立臺灣大學

張志誠 土木工程學系
國立中央大學

楊純明 農藝組副研究員
行政院農委會農業試驗所

鄧耀宗 副場長
行政院農委會高雄區農業改良場

廖天賜 森林學系副教授
國立中興大學

廖志翔 第三組農業氣象科科長
交通部中央氣象局

廖偉民 土木工程學系博士後研究
國立中央大學

鍾基啓 生命科學系
國立中興大學

蘇文瑞 土木工程學系博士後研究
國立中央大學

Contributors

Chih-Cheng Chang, Department of Civil Engineering, National Central University, Chung-Li, Taiwan (ROC)

Kenneth Lai-Fa Chen, Division Chief, Applied Meteorology Division, Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan (ROC)

Rong-Kuen Chen, Research Assistant, Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan (ROC)

Shih-Shiung Chen, Professor, Department of Agronomy, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan (ROC)

Shyh-Chin Chen, Associate Research Meteorologist, Experimental Climate Prediction Center, Scripps Institute of Oceanography, University of California-San Diego, CA, USA

Teh-Ming Chu, Professor, Department of Agronomy, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan (ROC)

Chi-Ch Chung, Department of Life Science, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan (ROC)

Chung-Hei Hsu, Department of Life Science, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan (ROC)

Sen-Hsiung Hsu, Professor and Dean, Office of Student Affairs, Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan (ROC)

Chun-E. Kan, Professor, Department of Bio-environmental System Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan (ROC)

Chin-Yu Lee, Professor and Head, Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan (ROC)

Jiann-Feng Lee, Assistant Researcher, Crop Improvement Division, Taichung District Agricultural Improvement Station, COA, Tachun, Changhua Hsien, Taiwan (ROC)

Chih-Hsiang Liao, Branch Head, Agrometeorology Branch, Applied Meteorology Division, Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan (ROC)

Tien-Szu Liao, Associate Professor, Department of Forestry, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan (ROC)

Wei-Min Liao, Postdoctoral Research Associate, Department of Civil Engineering, National Central University, Chung-Li, Taiwan (ROC)

Chien-Yih Lin, Director General, Taiwan Agricultural Research Institute, COA, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan (ROC)

Chung-Ping Lin, Department of Life Science, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan (ROC)

Fu-Hsiung Lin, Director General, Kaohsiung District Agricultural Improvement Station, COA, Pingtung, Taiwan (ROC)

Yuan Shen, Professor, Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan (ROC)

Jau-Chang Shih, Research Fellow, Department of Horticulture, Taiwan Agricultural

Research Institute, COA, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan (ROC)

Wen-Ray Su, Postdoctoral Research Associate, Department of Civil Engineering, National Central University, Chung-Li, Taiwan (ROC)

Kuo-Hu Sun, Department of Life Science, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan (ROC)

Yao-Chung Teng, Deputy Director General, Kaohsiung District Agricultural Improvement Station, COA, Pingtung, Taiwan (ROC)

Ching-Ping Tung, Associate Professor, Department of Bio-environmental Systems Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan (ROC)

Jen- Hsien Weng, Professor, Department of Life Science, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan (ROC)

Ming-Chin Wu, Professor, Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan (ROC)

Ray-Shyan Wu, Professor, Department of Civil Engineering, National Central University, Chung-Li, Taiwan (ROC)

Chwen-Ming Yang, Agronomist, Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan (ROC)

序

臺灣地區位於地球村的一角，總無法逃脫地球運行的多樣化及林林種種的災變，健康而理性的態度就是坦然面對及謀求問題的解決。氣象變化及氣象災害不但和臺灣地區民眾的生活息息相關，亦對農、工、商及民生等各產業造成深遠影響，倘若昧於偏頗處置不當，即可能受到鉅大經濟損失，民眾生命財產亦可能遭受危難。包括農業在內的政府各部門，均應當審慎面對與因應，研擬不同狀況的施政計畫與策略。針對農業產業而言，氣象災害、氣候變遷及氣象資源利用乃是現階段臺灣地區農業生產面臨的重要環境課題，也是農業氣象學門應當專注的研究議題。

水資源的應用與管理是國家生存的命脈，更是民眾賴以生活的憑藉。受制於海島型地理及區內多變的地形，臺灣地區的水資源十分有限，又因環保與政治因素干擾，新水源的開發迭有困難。如何在現有條件下適當而合理的調配與涵養水源，並發揮水資源在生產、生活、生態等三大面向的效率及效能，實在是考量國家總體經濟發展的當前要務。雖然各種產業的運轉需要水源，然而水資源循環過程中的生態環境功能、產生的親水景觀精神價值、緊密維繫的生物鍊意義、以及貢獻於全球大氣系統的穩定機制等，其對人類乃至於地球生物與非生物的歷史意涵及永續不絕，毫不遜色。這些都不是眼前經濟數字所能夠包容和估算的，所以水資源的應用與管理眞是國家和民眾密切相關的大事，不可等閒視之。

行政院農業委員會范振宗主任委員曾言及，農業是歷史最悠久的基礎產業，也是歷久彌新的現代事業。臺灣農業在過去既有的良好根基上，一直都在融合現代化科技與知識尋求突破，創新農業產銷技術、維護農業的多元功能。隨著時代背景的演變，農業的定位或許有所改變，但是農業在經濟、人文、生態及生活面的機能與價值仍是難以取代的，即使在高度科技文明的二十一世紀，人類還是必須仰賴農業維生。中華農業氣象學會有鑑於農業氣象及農業水資源議題的重要性，期思助益於臺灣農業的轉型和競爭力的提昇，在行政院農業委員會高雄區農業改良場、農業試驗所和國立臺灣大學農藝學系共同協助及農委會中部辦公室經費補助下，舉辦「農業氣象及農業水資源之應用與管理研討會」。以前瞻性的眼光，邀集相關學術及業務領域的專家學者發表專題論述，並彙編論文輯出版，盼望略盡薄力引導國內各界重視有關議題，齊心努力於增進人民福祉和奠定國家長治久安基石。

林富雄
中華農業氣象學會理事長／
行政院農委會高雄區農業改良場場長

林俊義
行政院農委會農業試驗所所長
2002年12月

農業氣象及農業水資源之應用與管理
緒　論
1-8, 2002

1 緒 論

楊純明[1]、林富雄[2]、林俊義[1]、鄧耀宗[2]
[1] 行政院農業委員會農業試驗所
[2] 行政院農業委員會高雄區農業改良場
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

摘要 -- 2
壹、前言 -- 2
貳、本書內容精要 -- 3
參、結語 -- 6
英文摘要 -- 7

1 緒論

楊純明[1]、林富雄[2]、林俊義[1]、鄧耀宗[2]
[1] 行政院農業委員會農業試驗所
[2] 行政院農業委員會高雄區農業改良場
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

摘要

本書爲「農業氣象及農業水資源之應用與管理研討會」論文輯，收錄研討會講座之專題論述十二篇彙編而成，該項研討會係於民國九十一年十二月十二日假國立臺灣大學農藝學系大樓舉行，由中華農業氣象學會主辦，行政院農業委員會中部辦公室經費補助，並由行政院農業委員會高雄區農業改良場、農業試驗所和臺灣大學農藝學系共同協辦。研討會講座分別邀請國內各相關學術及業務領域之學者專家擔任，發表之專題論述依照研討會主題訂定，涵蓋議題十分廣泛而多樣，論述內容深入而淺出，由各講座彙整試驗研究結果及文獻而成，具有農業及氣象背景知識之專業人士均適合閱讀，亦可作爲大灣院校有關科系之輔助教材。本書由農委會農業試驗所、高雄區農業改良場和中華農業氣象學會共同出版。

關鍵詞：農業氣象、農業水資源、農業灌溉用水、活水、毒水。

壹、前言

農業水資源之應用與管理是國家一等一的大事，因爲臺灣地區目前的農業灌溉用水幾占當年全部用水的70%，而這些農業用水又提供國人生活所必需的糧食、生態環境活化的原動力、以及生存空間循環不已的驅駛能源。在農業灌溉用水當中，僅有非常少量(約5%)的水直接利用於作物生產實質需要，其餘的水量或補注地下水源、或回歸入地面水源(如溝渠、河川、湖泊、大海等)、或蒸發散至大氣進入氣象系統，然而最終仍回到地球水資源庫供生物使用。因此，表面上農業用水量十分龐大，但是仍然回歸大自然成爲『活水』，仔細數算其意義深遠恢宏。倘若一時偏頗不查，誤認爲農業用水屬於浪費、消耗或低產出，大幅剝削於工商使用變成『毒水』，則地球上的生物恐將陷於萬劫不復的災難，總有一天毒死光光。果若因爲天候異常，需要臨時性調配水源，應當備有不同的周延配套措施機動採行，絕非急病亂投醫。在當前工商業導向的時代，「國家水資源整體規劃」及「農業水資源合理化利用」均是國家經濟發展的重要議題，惟樞紐關鍵並非工商及民生用水優先，抑非農業灌溉用水占用比例過高，而是「如何維

持水資源的動態平衡以生生不息」和「如何提高水分在農業生產利用上的效率與效能」，政府有關部門應予重視而及早完成全盤規畫。

臺灣地區雖然侷處地球村的一角，然而此一區域恰位於氣象變化多端的地理位置，又座落於西太平洋熱帶氣旋(颱風)慣行通道，加上島內地形多變且河川急湍、土質鬆軟，極易受到災變型天氣的危害。因此，當發生短期降水集中風速強勁的天候狀況，就可能引發河渠氾濫土石橫流景況，倘若不幸遇上水土保持措施與工程不當等疏失，災禍可期、危害立見。另一方面，由於地球資源的大幅開發利用及巨量人造化學品的急速使用，已使得大氣中二氧化碳、甲烷、氧化亞氮及其他溫室效應氣體濃度持續升高與累積，造成全球溫暖化及氣候變遷的加速進行。同時有毒廢棄物屯積處處，毒害物質隨著人類活動及自然運動四方流竄，地球前景令人堪憂。這些人爲及天然的情境造成氣象的大變化，凡與農業範疇有關的氣象領域均可歸屬於農業氣象，農業氣象科學即在探討氣象與農業之關係和農業對氣象變化的因應對策。綜觀當前國內農業的發展和氣象變化的趨勢，「加強農業氣象科學的基礎與應用研究」才是正確而積極的作法，經由瞭解相關因果而謀求對應出路。

從臺灣地區全域性的觀點，全臺各地皆有共通的氣象災害，如颱風、豪大雨、鋒面、寒流等，也有各地獨特的氣象異常事件，如乾旱、焚風、冷霜、冰雹等。有趣的是，這些多樣的氣象變化都會對農業帶來不同程度的影響，亦和水的活動有直接或間接的關係，讓人類品嘗氣象變化及氣候變遷帶來的酸甜苦辣心情。顯然的，農業氣象及農業水資源是互爲因果相牽相連的，對包括臺灣地區在內的全球農業生產具有舉足輕重的深遠影響。此一情勢彰顯出農業氣象科學對農業運轉的重要，也突顯探討農業氣象及農業水資源的必要，這就是中華農業氣象學會主辦「農業氣象及農業水資源之應用與管理研討會」及出版論文輯的積極意義和編纂目的。本書即爲研討會論文輯，彙編研討會講座之十二篇專題論述而成。研討會講座分別邀請國內各相關學術及業務領域之學者專家擔任，發表之專題論述依照研討會主題訂定，兼顧講座之專業與專長，內容深入而淺出，適合具有農業及氣象背景知識之專業人士閱讀，並可作爲大灣院校有關科系之輔助教材。

貳、本書內容精要

本書計十三篇，第一篇「緒論」，概述本書各篇內容，並指陳各篇要點，提供讀者全書輪廓。

第二篇「大氣溫室效應氣體加倍對臺灣地區氣候和水資源衝擊評析」，由臺灣大學大氣科學系吳明進教授、生物環境系統工程學系童慶斌教授和美國加州大學聖地牙哥分校SCRIPPS海洋研究所陳世欽博士等共同執筆，文中藉由數値模擬來探討溫室效應氣體倍增對臺灣區域氣候和水資源之影響。在以NCAR-CCM3和NCEP-RSM-96V(CCM3/RSM-96V)模擬系統作不同模式解析度方面，包括三種不同解析度RSM的模擬；在以不同氣候模式模擬輸出輸入GWLF水文模式上，由模擬臺灣北中南東四個河川集水區的河川逕流量和地區地下水補注量，探討全球變遷對臺灣水資源供

給面的影響。本文並進一步結合氣候模式、水文模式及灌溉用水評估模式來評估農業用水，且探討全球變遷對臺灣地區水資源需求面之衝擊，內容深入而具前瞻性。

第三篇「中央氣象局突變天氣預報與颱風警報作業現況」，係由交通部中央氣象局第三組陳來發組長撰寫，本文是針對中央氣象局現行突變天氣預報及颱風警報作業之實際狀況做一簡要說明。相信讀者透過本文，能夠對預報產品的定義、內容、發布次數、預報流程及使用工具與方法，甚至預報的決策過程及預報產品之準確度等，擁有全盤性的認識與瞭解，並衍生對中央氣象局嚴謹預報程序的感佩。再由本文列舉各種氣象預報資訊傳遞管道，未來更能快速獲取氣象預報資訊。

第四篇「臺灣的颱風、暴雨災害量化分析」，乃中央大學土木程學系吳瑞賢教授主筆，共同作者包括蘇文瑞博士、廖偉民博士和張志誠先生，文中闡述針對臺灣地區颱風暴雨災害之量化分析結果。由於臺灣地處亞熱帶，並位於西太平洋颱風區，平均每年有3.5個颱風與多次豪雨侵襲，造成的經濟損失頗為驚人。作者有鑑於此，特別蒐集統計颱風豪雨災害之調查資料，配合颱風豪雨的降雨分佈進行交叉比對量化分析，求得彼此間的關連性，同時瞭解各項因子對於災害發生與否與量級的影響程度，建立彼此間的因果關係。經由如此完整研究結果發現，不同颱風路徑會對台灣各地造成不同程度的累積降雨及災情，且若將臺灣分成北中南東四區域來看，當颱風累積降雨量分別為200mm、300mm、350mm及300mm以上時，各地區淹水機率即高達40%。

第五篇「民國九十年臺灣地區氣候變化與農業氣象災害」，為交通部中央氣象局第三組農業氣象科廖志翔科長精心撰稿，本文概述民國九十年台灣地區之氣候情況及農業氣象災害。當年臺灣地區的天氣系統受到鋒面、東北季風、大陸冷氣團、華南雲雨區東移、颱風(含其外圍環流)、熱帶性低氣壓、低壓帶及西南氣流等影響，另有3次寒流伴隨鋒面南下。整體言，全年年平均氣溫偏高溫且冬季偏暖，年雨量屬偏多，大部分來自於9月颱風所帶來的貢獻。其他重要事件如豪大雨發生日數集中於9月；有7個侵台颱風，屬多侵台颱風年，尤以納莉颱風之路徑最為怪異且創下某些氣象站雨量紀錄，以桃芝及納莉颱風所造成的災害損失最為嚴重。

第六篇「臺灣北部之少雨特性」，係國立屏東科技大學水土保持學系徐森雄教授和李錦育教授合著，藉由中央氣象局所屬基隆、台北、新竹及宜蘭等四個測站之月降雨資料，分析造成臺灣北部地區少雨的原因。本文採用統計上的定量分析，由各月份雨量對當年累計雨量之比值(即C值)頻率分布，探討臺灣地區北部某特定少雨雨量之頻率分布及其持續與恢復情形，再延伸對今後水資源之營運管理或某月份起可能發生乾旱之定量預測，提供更為明確有效之資訊。

第七篇「田間蒸發散量之估算與應用」，由中興大學土壤環境科學系申雍教授所撰，陳述田間蒸發散量對土壤中有效水分含量及作物產量的直接影響，以及對擬定灌溉計畫和進行水資源規劃的重要性。本文首先說明測定地表蒸發散量的技術及利用氣象資料推估地表蒸發散量的方法，然後論及估計區域蒸發散量的注意事項及

農業上可能的應用方向。文中將各種方法的特點、優劣及應用層面詳細說明，提供讀者良好參考文獻。

第八篇「作物耐旱原動力－滲透調節物」，承中興大學農藝學系朱德民教授著述，介紹作物耐旱機制之一，滲透調節物質。當農作物處於缺水逆境下，部分耐旱作物或品種可以合成一些滲透物質，維持細胞膨壓，增加耐旱能力。這些滲透物質除了調節滲透勢，尚具有保護逆境下酵素的作用。目前除了過去為人熟知的碳水化合物、胺基酸之外，另陸續發現一些滲透物質(如甜菜鹼、proline-衍生物和糖醇類)亦具有滲透調節功能。吾人可以利用生物技術，將控制這些滲透物質的調控因子轉殖至特定作物上，增加作物耐旱能力。

第九篇「水稻的深水灌溉與乾旱期的用水管理」，為臺灣大學生物環境系統工程學系甘俊二教授著作，提出以深水灌溉方式栽培水稻作法，達到提高水資源利用及涵養水源目的。此項理念與實務作法源始於謀求解決臺灣地區現階段水資源短缺問題，由於新水源開發日益困難，而非農業用水需求急速增加，使得可利用的水資源日漸不足。有鑑於此，甘教授以其多年研究成果與經驗，並綜合日、美等國相關作法之優點，提出水稻深水灌溉主張，本文也特別討論乾旱期之農業用水調配方式。

第十篇「水分管理對水稻生育及米質之影響」，由中興大學農藝學系陳世雄教授和農委會臺中區農業改良場李健捀先生合寫，詳細解說其一系列田間試驗研究結果。研究發現，在水稻營養生長期間適度減少灌溉水，將可提高土壤水分張力及氧化還原電位，而有助於提昇水稻幼苗根活性及乾物質累積速率。若於高張力下提早晒田且補充適量磷肥，則有助於提高根活性及增加分蘗數，並可能增加稻穀產量，惟視品種而異。文中也建議在容易缺水地區，推廣適當品種種植，將可以獲得較高之灌溉水利用效率。

第十一篇「塔塔加地區臺灣雲杉(*Picea morrisonicola*)光合作用之季節變化」，係中興大學植物學系翁仁憲教授撰寫，報告其多年研究生長於亞熱帶亞高山地區臺灣雲杉(*Picea morrisonicola*)光合作用能力季節變化之結果。類似針對臺灣山區林木生理特性之試驗研究並不多見，彰顯出翁教授對生態研究之執著與創見。本文觀測不同季節光合作用能力、葉綠素螢光反應及可溶性蛋白質含量之改變，以及其與氣溫、光照等之關係，對於三者之相互變化有深入探討。

第十二篇「精準果園之水分管理－果園多功能自動灌溉噴霧系統在果樹產業上的應用」，乃行政院農業委員會農業試驗所園藝組施昭彰研究員編撰，綜合敘述其檢索之國外文獻、實例及個人在果樹水分管理上的研究成果。作者首先強調生產環境之降溫或增溫系統均必須配合作物生長之生理條件及規律加以機動有效的調節，繼而配合實際案例講解噴霧噴灌藉蒸散吸熱降溫或釋放潛熱加溫之原理與應用。再進一步解說對研發之人工智慧型多功能自動灌溉噴霧系統之功能，此一系統初步應用在多種果樹之誘引花芽分化、滿足低溫需求、催花、延緩果實之成熟、避開逆境與某些設施作物之病蟲害之生態及物理防治上，均顯現成效，值得參考與廣泛利用。

第十三篇「農作物水分狀態及光譜遙測之利用」，由行政院農業委員會農業試驗所農藝組陳榮坤先生和楊純明副研究員共

同論述，重點陳述農作物水分狀態與其生育及環境之關係，並概論利用光譜遙測監測作物水分狀態以管理利用水源之學理基礎。歷經乾旱的痛苦洗禮，國人均已體認(驗)水資源的寶貴，更加珍惜及善用臺灣地區有限的水源。在農作物栽培生產過程中，田間水分管理與利用亦是相當重要的一環，如何兼顧作物生產需求及水資源有效利用，適時適法的供給田間作物適量的水分，是世界各先進國家積極探討的課題，應當也是農政機關和農業試驗研究單位關注的焦點。文內回顧相關文獻，簡介光譜遙測技術在作物水分狀態估測上的研究進展及應用，同時建議農業部門加強農作物生產的水分管理與利用研究。

參、結語

綜合上述，吾人當可明白「國家水資源規劃」、「農業水資源合理化利用」及「加強農業氣象科學的基礎與應用研究」議題在現階段的重要與必要，再經由各篇論述的概要介紹，讀者對於各項主題的緣起與內涵諒有相當瞭解。理想的農業是在追求天人合一，讓人類和生物在地球上長存永續併輝日月，在時間、空間、生命之三維座標上競走於眞善美境界，而農業氣象及農業水資源則是達成目標的鎖鑰。特別要強調的是，國人對於農業灌溉用水的正確看法，凡昧於眼前的經濟效益及產值高低放言撥用農業用水於工商業，將是非常幼稚而不負責任的說法。金錢是 有限的，繁衍生命才是永遠的，任何人都沒有權利挪用子孫的水資源，偷竊後代人的命根，徒留毒害、災禍與黑暗。任何人都沒有！

Introduction

Chwen-Ming Yang[1], Fu-Hsiung Lin[2], Chien-Yih Lin[1]
and Yao-Chung Teng[2]

[1] Taiwan Agricultural Research Institute, COA, Taichung Hsien, Taiwan (ROC)
[2] Kaohsiung District Agricultural Improvement Station, COA,
Pingtung, Taiwan (ROC)
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

Abstract

This book is the Proceedings of Symposium on Agricultural Meteorology and Agricultural Water Resource Applications and Management, which collect twelve papers presented in the symposium. The symposium is organized by Chinese Society of Agrometeorology and is held at the seminar hall of Department of Agronomy, National Taiwan University on the 12th of December 2002. The symposium is also financially supported by the Central Office of Council of Agriculture (COA) and co-sponsored by Kaohsiung District Agricultural Improvement Station and Taiwan Agricultural Research Institute of COA and Department of Agronomy of National Taiwan University.

Key words: Agricultural meteorology, Agricultural water resource, Agricultural irrigation water, Living water, Poisonous water.

2 大氣溫室氣體加倍對臺灣區域氣候和水資源衝擊評析

吳明進[1]、童慶斌[2]、陳世欽[3]
[1] 國立臺灣大學大氣科學系
[2] 國立臺灣大學生物環境系統工程學系
[3] 美國加州大學聖地牙哥分校Scripps海洋研究所
E-Mail: wu@wu.as.ntu.edu.tw

摘　要 -- 10
壹、前言 -- 11
貳、氣候與水文模式 -- 11
參、全球變遷對台灣區域氣候之衝擊 -- 13
肆、全球變遷對台灣區域水資源之衝擊 -- 17
伍、討論與結語 -- 18
陸、致謝 -- 20
柒、參考文獻 -- 20
英文摘要 -- 22

2 大氣溫室氣體加倍對臺灣區域氣候和水資源衝擊評析

吳明進[1]、童慶斌[2]、陳世欽[3]
[1] 國立臺灣大學大氣科學系
[2] 國立臺灣大學生物環境系統工程學系
[3] 美國加州大學聖地牙哥分校Scripps海洋研究所
E-Mail: wu@wu.as.ntu.edu.tw

摘 要

本文藉由數值模擬探討溫室效應氣體倍增對臺灣區域氣候和水資源之影響。首先進行使用NCAR-CCM3和NCEP-RSM-96V(CCM3/RSM-96V)模擬系統作不同模式解析度，目前二氧化碳濃度和二氧化碳濃度倍增情境下，臺灣區域氣候模擬之實驗。完成了三種不同解析度RSM的模擬。其爲280km×280km(RSM0和CCM3解析度相同)，50km×50km(RSM1)和15km×15km(RSM2)。作RSM0模擬的目的是作爲區域氣候模式的比較基準，以移除CCM3和RSM0之模式物理差異效應。對各別10個冬季和10個夏季，目前二氧化碳濃度和二氧化碳倍增情境下RSM模擬輸出統計來探討平均的衝擊。結果顯示CCM3和RSM0間仍有明顯差異，顯示不同模式物理的影響。臺灣區域降水季節和地理分佈的特徵可以RSM巢結於CCM3的二氧化碳等溫室效應氣體加倍造成全球尺度環流變遷的模擬中被突顯出來而RSM2的模擬最接近觀測。但是降水強度，特別是冬季可能被某些程度的高估。而模擬的降水頻率特性在夏季較爲合理。RSM1和RSM2模擬顯示臺灣東北部在二氧化碳加倍後，冬季降水顯著增加，伴隨南部海岸背風面，地面溫度顯著升高，而全省冬夏雨日頻率都增加。其次以不同氣候模式模擬輸出輸入GWLF水文模式，模擬臺灣北中南東四個河川集水區的河川逕流量和地區地下水補注量，探討全球變遷對臺灣水資源供給面的影響。對氣候模式模擬輸出的區域水文參變數，結合日氣象產出模式產生日氣象參變數檔。其中包括降水量，平均氣溫，條件和無條件雨日機率等。並將其統計結果應用於水文模式預測河川流量和區域地下水補注量之變遷。結果顯示RSM0預測北中東三區河川流量皆將顯著增加。南部除春季外也有顯著增加，而東部將增加最多。高解析度模式RSM2預測各區氣候參數小而一致的增加，因而預測各區河川流量將少量增加。但RSM1預測南部河川流量，在春季減少。中部河川流量全年減少。地下水補注方面除了RSM1預測中部地區全年和南部地區夏秋冬

季減少之外，其餘地區的地下水補注量都呈現增加趨勢。本文進一步結合氣候模式、水文模式及灌溉用水評估模式評估農業用水探討全球變遷對臺灣地區水資源需求面之衝擊。農業用水量和氣溫關係密切，RSM模式預測作物生長期前移並且縮短。農業用水量除了中南部之外，其他地區則是減少。

關鍵詞：全球變遷、水資源、區域氣候模式、水文模式、河川流量、地下水補助、農業用水量。

壹、前言

由於人類活動所引起的氣候變化在近年引起廣泛注意並成爲大氣科學研究的重要課題(IPCC.P2,96,2001)。研究除了進行資料分析以探討全球氣候變遷的歷史之外，也透過氣候數值模式模擬過去和目前的氣候狀態以了解氣候變遷的機制，並且透過假設溫室氣體的變化情境來展望未來的氣候變化。對於大尺度氣候變化的模擬主要有直接使用以大氣模式爲主，固定溫室效應氣體濃度的所謂平衡態模擬(IPCC1992,1996,2001)。也使用複雜的海氣陸耦合模式系統，溫室效應氣體依比例逐步增加的所謂漸進式模擬(IPCC1996,2001)。這種全球氣候變化的模擬由於計算資源的限制，通常只能作低解析度(200-300km)的模擬(IPCC1992,1996,2001)。

臺灣位於東亞季風區，面積狹小且地形高聳複雜造成區域氣候在時間、空間上的複雜度。因此全球尺度的模擬結果，臺灣地區常常只有一點，完全沒有代表性。因此針對區域氣候的變化模擬必須進一步使用區域氣候模式連結於全球尺度模式來對區域氣候變化做降尺度模擬。

臺灣地區平均年降水量達2500公釐，由於人口密集，人均可用降水資源約爲世界平均的1/5左右，屬相對貧水地區。加上臺灣地區降水時空分佈非常不平均，總降水量在東部北部較多。西部南部較少，在西南部有半年的乾季。由於人口眾多產業發達，所以水資源已稀少資源成，全球變遷導致氣溫上升，降水區域移動(IPCC1992, 1996, 2001)。全球變遷對臺灣區域水資源的衝擊爲何值得研究評估。

本文即藉由使用全球尺度的大氣NCAR-CCM3模式連結NCEP/RSM-96V區域模式的氣候模式系統進行不同模式解析度，目前二氧化碳濃度與二氧化碳濃度倍增情境下臺灣區域氣候變化之模擬實驗，評估全球變遷對臺灣區域氣候衝擊。本文更進一步將不同氣候模式模擬輸出輸入於GWLF水文模式模擬臺灣北中南東四個集水區的河川流量和地下水補注量，探討全球變遷對臺灣水資源供給面的影響以及結合灌溉用水評估模式模擬農業用水之變化，從生態變化的角度探討臺灣地區水資源需求受全球變遷的影響。

貳、氣候與水文模式

一、氣候模式系統

本文全球尺度氣候模式系統使用

NCAR/CCM3模式。模式詳細的內容可參考Kiehl et al(1998)。簡單的說CCM3爲全球波譜模式。水平解析度爲T42(~280km)，垂直18層。CCM3使用先進的大氣物理參數化和一簡單的混合層海洋模式連結，較前一版本CCM(CCM2)具有較完整的水文循環。

全球變遷對區域氣候衝擊評估之設計爲使用CCM3進行一倍二氧化碳(1×CO2,355ppm控制組)和二倍二氧化碳(2×CO2,710ppm預測組)各32年之冬夏二季平衡態模擬，取22-31年，10年之輸出代表目前和未來氣候之環流場，而後截取CCM3結果輸入於區域氣候模式作不同解析度之區域氣候模擬。

區域尺度使用NCEP/RSM-96V (Juang and Kanamitsu, 1994)。簡單地說NCEP/RSM和NCEP全球波譜模式(NCEP/GSM)有相同物理參數，垂直向使用σ-座標，分爲18層。模式變數爲大尺度模式場和其擾動之和。擾動在模擬的側邊界爲0，在模式區域內以雙三角(Double sine-cosine)函數表示。若無區域強迫RSM模式的解和GSM相同。

本文使用的區域模擬多重網巢RSM0/RSM1/RSM2，模擬範圍和解析度如圖1所示，模式解析度分爲280km，50km，和15km。RSM0解析度爲280km和CCM3相同。RSM0模擬的目的是建立和其有相同物理的RSM1和RSM2的比較標準，可看成解析度T42(~280km)的區域模擬。RSM0和RSM1皆使用一日二次的CCM3模擬作爲邊界和模擬區域內之大尺度環流場，而RSM2則巢狀連結於RSM1，以RSM1之模擬輸出作爲初始場。目前氣候模擬結果之校驗，降水方面比較1987-2000年氣象局自動雨量站資料，氣溫方面則比較1970-2000年氣象局氣候站資料。

二、水文模式與農業用水評估模式

評估氣候變遷對河川流量的衝擊之步驟包括研究區域選定，氣候變遷型態分析，區域適用水文模式選定，水文模式輸入資料之產生及河川流量之模擬與預測。研究區域選定步驟爲將臺灣分成四區，選擇具有水庫主要河川上游集水區。結果選定的研究區域共有北部翡翠水庫、北勢溪上游集水區，中部德基水庫、大甲溪上游集水區，南部曾文水庫，曾文溪上游集水區，東部秀姑巒溪上游集水區，集水區的地理位置、面積和平均流量如圖2所示。

河川流量模擬本文使用Haith and Shoemaker (1987)所發展的GWLF模式。GWLF詳細的內容和應用可參考童等(1999)和范(1998)。模擬河川流量所需的日氣象資料由使用Tung and Haith (1995)日氣象模擬模式結合鄰近測站氣象水文觀測與區域氣候模式模擬結果產生。氣象觀測北部以竹子湖、中部日月潭、南部嘉義及東部成功爲代表。考慮氣候變遷下，各月平均溫度修正爲原各月平均溫度加上氣候模擬的預測組(2×CO_2)與控制組(1×CO_2)溫度差値，各月平均降水量修正爲原各月平均降水量乘以氣候模式模擬的2×CO_2與1×CO_2的降水比値。

集水區地下水補助之模擬採用水平衡模式。地下水補助量爲降水量減去蒸發量再扣除河川流量而得，模式詳細內容可參考范(1998)。本文依水利單位使用的水資源分區分別模擬，使用的氣象資料也以氣象局測站之分區平均爲標準。

水田灌溉用水站農業用水之大宗，本文針對水田灌溉特性建立灌溉用水評估模

TG42GCM/RSM1(50KM)/RSM2(15KM) OROGRAPHY AND GRIDS

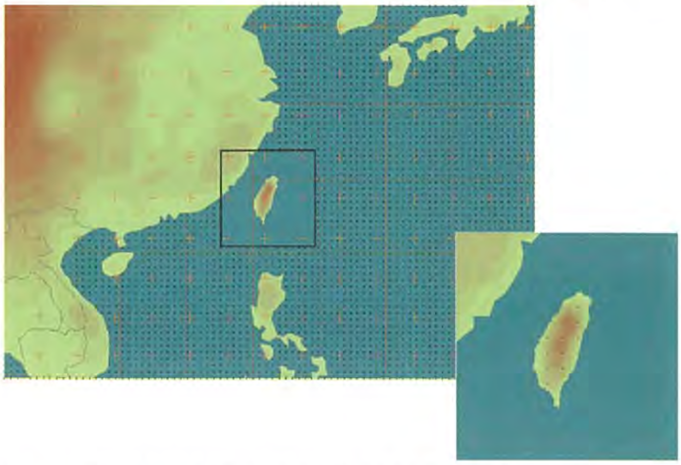


圖1. RSM0/RSM1/RSM2區域氣候模式系統的模擬的區域和網格。大圖RSM0網格(+字)，RSM1模擬區域、地形、網格(黑點)。小圖RSM2模擬區域RSM0網格（+fr）、RSM1網格(大黑點)、RSM2網格(小白點)和地形。

圖2. 四個集水區的地理位置，面積和平均流量說明圖。

式，模式利用Hamon 公式計算作物之潛能蒸發散量，及作物須水量再透過田間水平衡關係推估田間需水量，最後考慮輸水損失下決定灌溉需水量。模式詳細內容可參考童與連(2001)或吳(2001)。

參、全球變遷對台灣區域氣候之衝擊

圖3比較RSM0和CCM3模擬的1倍大氣二氧化碳情境冬季(DJF)及夏季的降水和垂直積分水汽通量以及兩者之差異，由圖可見RSM0和CCM3皆可模擬ITCZ和中緯度西太平洋氣旋路徑的降水分佈。但RSM0模擬的北半球冬季ITCZ降水帶相較於CCM3略為偏北，因而相對於CCM3，RSM0的模擬冬季在10~15°N有較多降水和水汽輻合(圖3,a)。二種模式皆可模擬北半球夏季印度半島西岸、印度東北以及中國大陸長江中上游大量的降水，但相較於CCM3，RSM0的

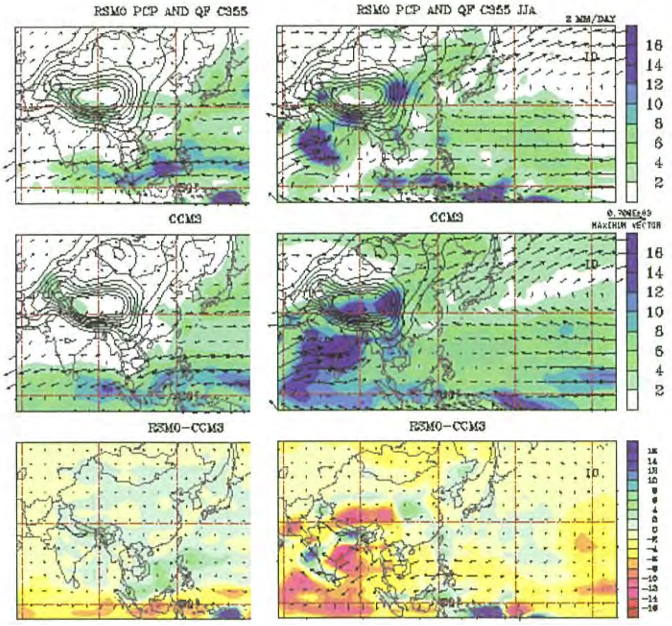


圖3. 一倍二氧化碳（C355）情境下，RSM0和CCM3模擬的冬季（DJF）與夏季（JJA）降水和垂直積分水汽通量（箭頭），以及兩者之差異。

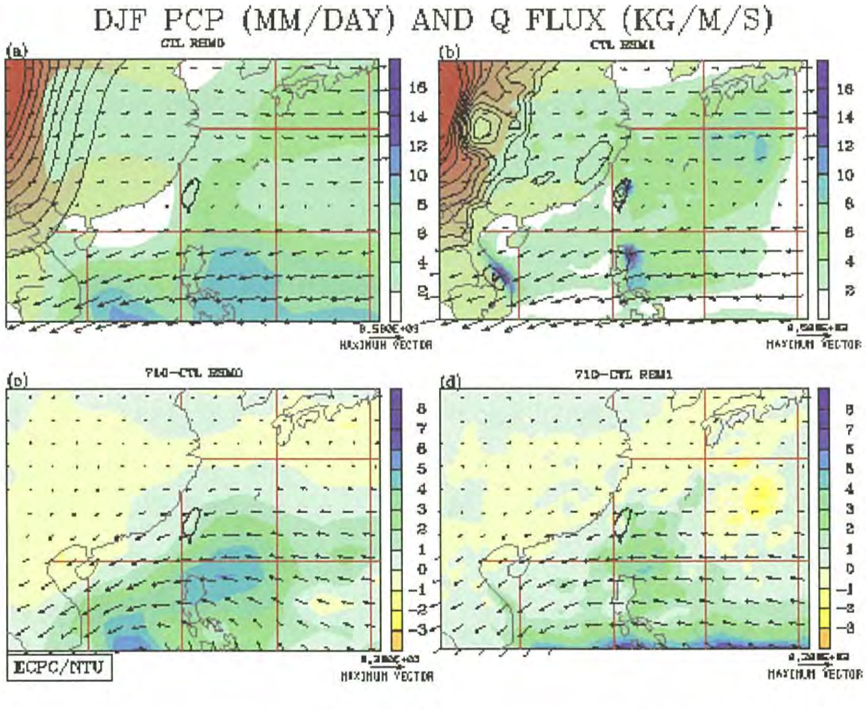


圖4. 一倍二氧化碳情境下，RSM0(a)和RSM1(b)模擬的冬季（DJF）降水和垂直積分水汽通量（箭頭），以及(c)、(d)二氧化碳加倍情境下的改變（710-CTL）。

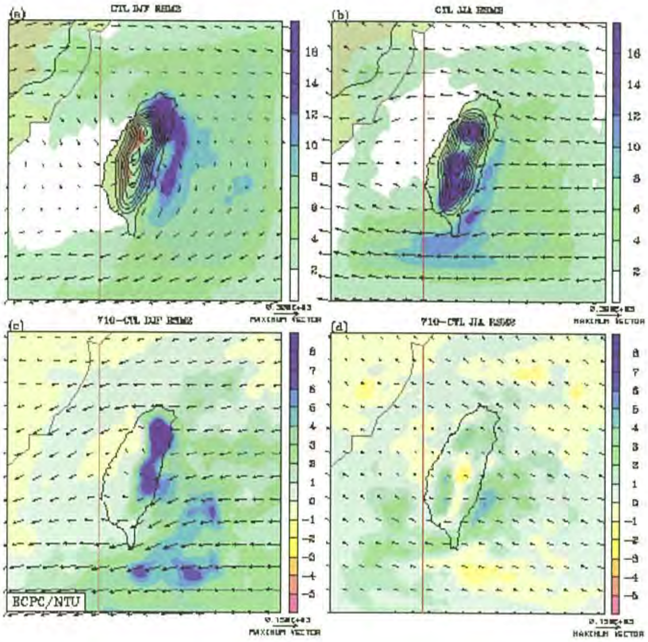


圖5. 一倍二氧化碳（CTL）情境下，RSM2模擬的(a)冬季（DJF）、(b)夏季（JJA）降水和垂直積分水汽通量（箭頭），以及二氧化碳加倍（710）情境下(c)冬季（DJF）與(d)夏季（JJA）改變量（710-CTL）。

模擬在夏季、南亞季風區降水較少，而東亞季風區降水較多(圖3,b)。這種差異的產生完全是由於不同的模式物理，特別是對流參數化所造成。RSM1和RSM2將使用和RSM0相同的物理和垂直結構，因而RSM0取代CCM3作爲區域模式突顯區域特徵對比的參考基準。圖4顯示RSM0和RSM1在一倍二氧化碳情境下模擬的冬季降水和水汽通量分佈(圖4,a,b)，以及二氧化碳加倍情境下的改變量(圖4,c,d)，可見一倍二氧化碳情境下RSM1相較於RSM0降水較集中於陸地的迎風面。在二氧化碳加倍後RSM0預測30°N以南的海洋地區降水將增加，RSM1則進一步預測，降水在海岸迎風面降水將顯著增加。同樣夏季的模擬(圖略)顯示夏季RSM1模擬相對於RSM0模擬降水較集中於海島上。二氧化碳加倍後，RSM0預測臺灣附近地區降水將增加，但RSM1預測降水在臺灣中部地區可能減少。RSM2模擬冬季的降水只分佈在臺灣東部和北部，在東北角尤是降水中心，夏季的降水則多集中在山頂附近。二氧化碳加倍的模擬顯示RSM2預測冬季臺灣東部、北部降水顯著增加。夏季則全島大部分增加，但中心地區可能減少(圖5)。圖6顯示RSM2模擬的冬季和夏季在一倍二氧化碳情境下溫度的分佈和二氧化碳加倍後的溫度改變量。由圖可見RSM2可以適當的模擬臺灣地區冬夏溫度分佈的特徵。而二氧化碳加倍後冬季在東北季風的背風坡臺灣的西南部溫度顯著上升。圖7進一步比較RSM1和RSM2模擬的以及氣候上(實際觀測)的臺灣地區冬季和夏季降水的分佈，由圖可見降水分佈的特徵RSM2比RSM1更接近於實際觀測，但降水量則顯著偏多，冬季尤爲嚴重。如果更進一步統計臺灣地區日降水1mm以上的累積頻率(圖8)

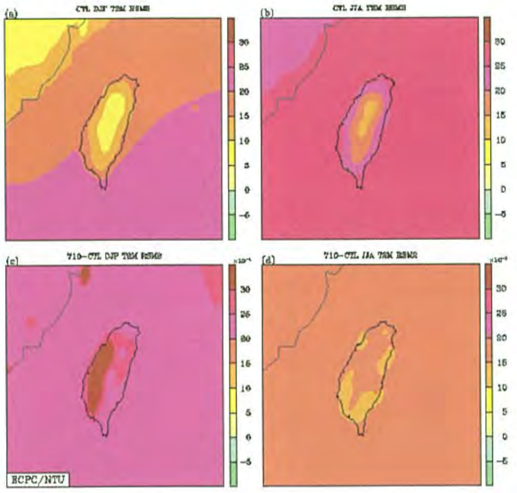


圖6. 同圖5，但爲近地表氣溫。

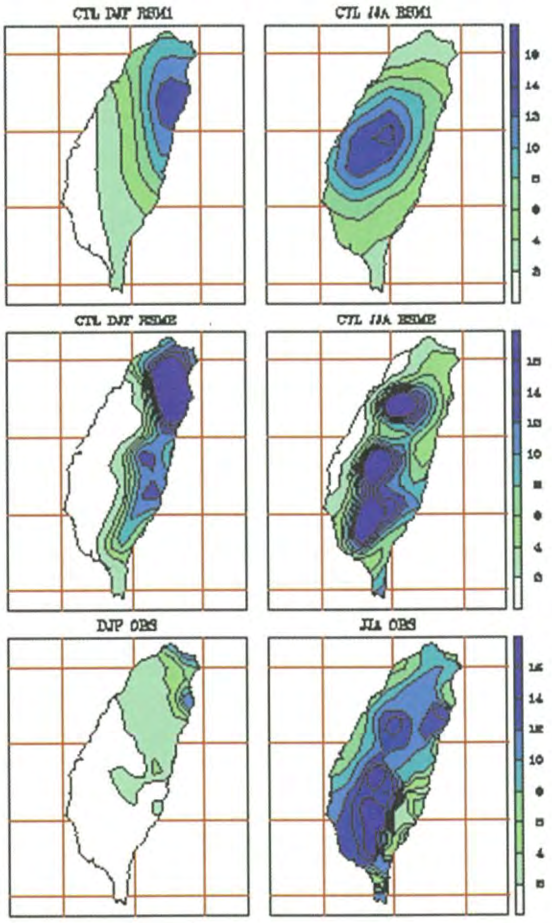


圖7. 在一倍二氧化碳情境下，RSM1和RSM2模擬的冬季（DJF）與夏季（JJA）降水與實際觀測（obs）的冬季（DJF）與夏季（JJA）降水分佈。

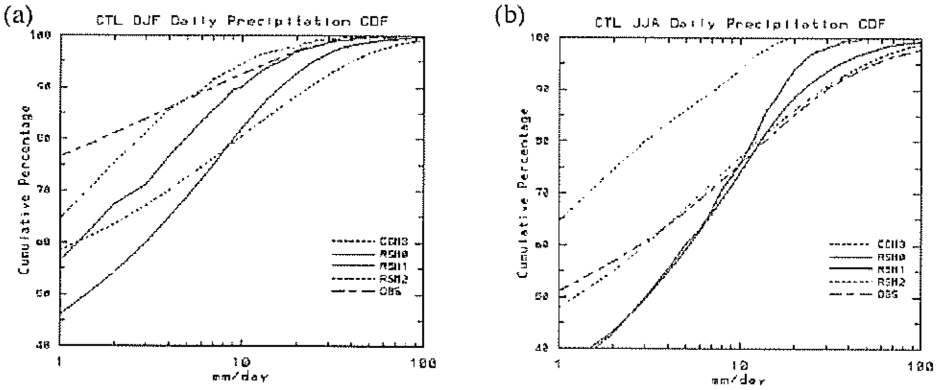


圖8. CCM3、RSM0、RSM1、RSM2模擬的(a)冬季（DJF）、(b)夏季（JJA）累積降水頻率分佈圖。

則更可以看到中至大雨的降水頻率被顯著高估，冬季更爲嚴重，RSM2夏季的模擬則接近觀測。由二氧化碳加倍後，日降水累積頻率圖(圖略)可見全省冬夏雨日頻率將增加。

肆、全球變遷對台灣區域水資源之衝擊

一、全球變遷對區域水資源供給面之影響

1.區域河川流量變化

將不同解析度，控制組和預測組氣候模式的模擬的結果各別輸入日氣象資料產生模式(Tung and Haith, 1995)結合參考氣象站之氣象觀測，產生集水區日氣象資料檔，統計其結果並將其輸入GWLF模式即可模擬預測在不同二氧化碳濃度下各集水區河川流量。使用的水文氣候參數，主要爲降水量的比值、降水機率與溫度改變值。模擬結果各集水區河川流量的改變率如圖9所示，以RSM0單一輸出點而言，降水量與降水機率無論於乾季或是濕季皆向上修正，且乾季降水量增加23%，降水機率增加13%，對於南部地區而言，冬季流量因爲降水量由原來小於入滲量，提高爲足夠產生大量地表逕流，因此流量增加。而北部地區因爲本身乾、濕季差異小，因此在降水量修正後，流量變化大致呈現均勻趨勢，其他地區增加亦相同。而比東部增加最多。

RSM1與RSM2於不同集水區其引用的網格點而不相同，RSM1降水量於乾季多呈現增加，濕季僅有北部與東部增加，而RSM2降水量則呈現全部增加的情形，且增加幅度較爲明顯。因此RSM2預測各區河川流量全省增加，但RSM1預測南部地區的河川流量在春季減少和中部地區的河川流量全年略微減少，其他地區季節則將增加。

2.區域地下水補注的變化

不同解析度分區地下水補注模擬預測結果如圖10所示。在地下水補注量方面，除了中部地區全年及南部地區夏秋冬季RSM1減少外，其餘地區的地下水補注量都呈現增加趨勢。由地下水補注量可以發

現，補注量的增加趨勢較降雨量增加趨勢緩和，且降雨量增加幅度越大地區，其地下水補注量並非越大，其仍受集水區與降雨分佈特性所限制，就原降水機率與降水量較高的北區，大部分所增加的降雨量皆成爲地表逕流。如北部地區降雨量增加約21%，但年僅補注量增加16%；相反的，東部地區降雨量增加約28.5%，但年僅補注量增加27%。

二、全球變遷對農業用水需求的影響

區域氣候的變化從很多面向影響水資源之需求。本文只從農田需水量改變探討全球變遷對水田須水量變化的影響。

由於作物生長跟氣溫有相當的關係，在氣溫方面無論乾季與濕季皆呈現增加趨勢，乾季增加2.37度濕季增加1.12度，所有生長期會往前移。

應用不同解析度模式預測全球氣象變遷對農業用水衝擊結果如圖11所示。

在農業用水方面，低解析度與高解析度的四個區域溫度皆向上修正，所以生長期皆往前移，與RSM0有相同的趨勢。

由於RSM0與RSM1及RSM2氣候模擬解析度上的差異，模擬結果差異較大，尤其RSM2模擬結果，氣候變遷前後平均降水量可增加38%，也使得推測流量以及地下水補注量會有較高的結果。在農業用水方面雖然會有暴增的趨勢出現，但那是因爲生長期前移的關係，但總用水量除了中部地區增加其他地區則是減少的。

伍、討論與結語

本研究藉由數值模擬探討溫室效應氣體倍增，對臺灣區域氣候和水文之影響。首先使用CCM3/RSM氣候模式系統作280km×280km(RSM0)， 50km×50km(RSM1)和15km×15km(RSM2)三種解析度的區域模式1倍CO_2和2倍CO_2冬夏季各10年的模擬實驗。結果顯示：1.CCM3和RSM0因模式物理的差異，模擬結果有顯著的不同，因而應以RSM0作爲區域模式比較基準。2.臺灣地區降水季節和地區的分佈在高解析度模式中可以突顯出來，RSM2更是最接近觀測，但降水強度特別是冬季可能被高估。3.模擬的降水頻率特性在夏季較爲合理，因而未來對夏天降水的評估可能較爲可信。4.二氧化碳加倍可能導致各地氣溫，特別是冬季西南海岸地區溫度升高將更顯著，且伴隨著東北部降水的增加。5.全省冬夏雨日頻率都將增加。

此一模擬結果和氣候站的觀測可能吻合處爲(1)觀測降水有季節和區域的差異，區域氣候模式系統可以完全反應。(2)各地年平均溫度顯著上升。(3)觀測的降水在北部和東部有增加的趨勢，模式模擬也部分顯示這個傾向。(4)模擬的降水頻率特性在夏季接近觀測結果，由此可見此全球/區域氣候模擬預報系統較大尺度模式能顯示氣候變化更細微的時間空間的結構。使用該模式系統有助於區域氣候變遷之評估。

本研究進一步把氣候模擬的輸出，輸入於GWLF水文模式評估北、中、南、東四個集水區河川流量受大氣二氧化碳加倍所導致全球變遷的影響。結果顯示全球模式(CCM3和RSM0)皆預測各地河川流量除了南部地區春季外皆將顯著增加，東部增加最多。而RSM2皆經由預測各氣候參數小而一致的改變，而預測河川流量也將小而一致的增加。但RSM1預測中部地區全年和南部春季河川流量可能減少。對水資源以

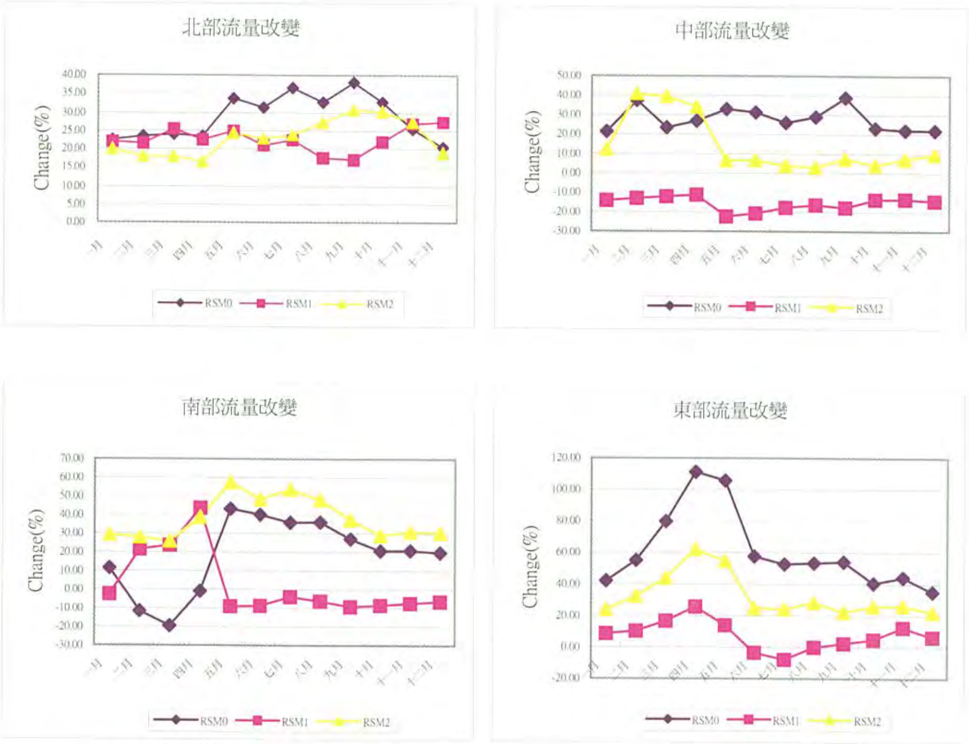


圖9. 應用不同解析度模式預測氣候變遷預設情境下之流量衝擊 — 北部、中部、南部、東部。

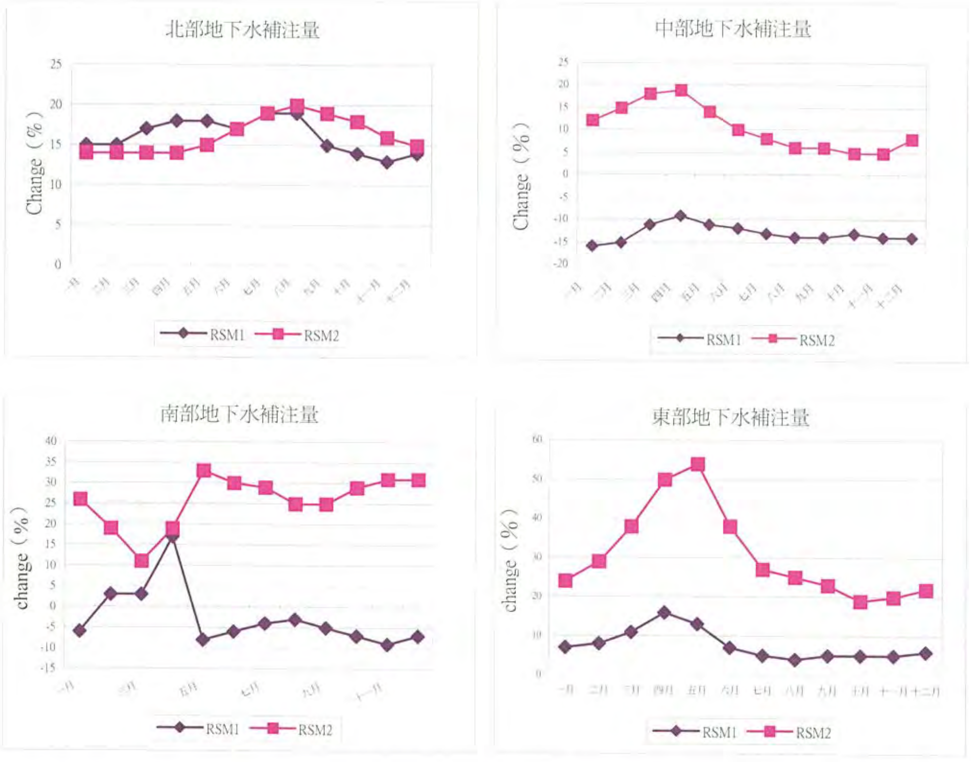


圖10. 應用不同解析度測氣候變遷預設情境下之地下水補注量衝擊—北部、中部、南部、東部。

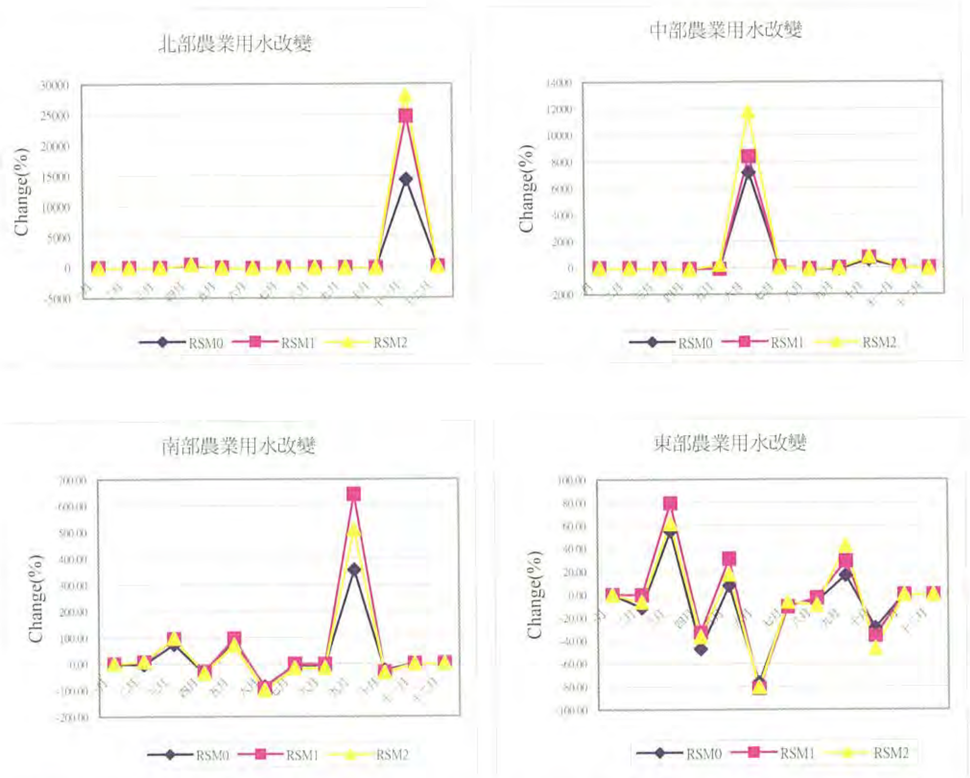


圖11. 應用不同解析度模式預測氣候變遷預設情境下之農業用水量衝擊 — 北部、中部、南部、東部。

全球模式結果所作的樂觀評估可能要保守一點。

本文再更進一步結合氣候模式系統，水文模式系統和灌溉用水評估模式系統模擬灌溉用水受全球變遷之影響。結果顯示農業用水方面雖有暴增的趨勢出現，但那是因爲生長期遷移的關係，總用水量除了中部地區之外，其他地區是減少的。由於中部也是臺灣主要的農業區之一，農業用水量的可能增加對於水資源的經營管理策略必須加以考量因應調整。

區域氣候變遷評估本文只考慮冬夏二季的氣候/水文狀況，但臺灣地區其他季節的氣候/水文特徵實際上無法由冬夏的線性內差獲得其他季節的模擬有進一步研究的必要。全球區域氣候模式的改進更是增加區域氣候變遷評估信心必要的工作。水資源評估方面除了氣候模式部分外，對於適當參考氣象站和水文站的選擇及水文和田間用水量評估模式的改進皆是增加水資源變遷評估信心需要進行的工作。

陸、致謝

本研究是在國科會專題研究計畫NSC88-2621-Z-002-024，NSC89-2621-Z-002-037，NSC90-2621-Z-012與NSC91-2621-Z-002-009支持下進行。本文由臺大李國豐先生協助打字編排一併致謝。

柒、參考文獻

吳明進。2001。臺灣環境變遷與全球氣候變遷衝擊之評析-子計畫-臺灣環境變遷與全球氣候變遷衝擊之評估-氣候變遷(三)-PartII-水資源國科會專題報告研究計畫成果報告NSC-89-2621-Z-002-037。

童慶斌、洪念民、陳主惠。1999。氣候變遷對水資源影響評估與適應策略研擬。農業工程學報 45(4): 73-90。

童慶斌、連宛渝。2000。氣候變遷對灌溉需水量之影響。農業工程學報 46(1):57-68。

范純志。1998。氣候變遷對臺灣地區地下水補注量之影響。國立臺灣大學農業工程研究所碩士論文，85頁。

IPCC, WGI. 1992. Climate change 1992. The Supplementary report to the IPCC Scientific Assessment. J. T. Houghton, B. A. Callander, and S. K. Varney, eds. Cambridge University Press , Cambridge. 198pp.

IPCC, WGI. 1996. Climate change, 1995. The Science of climate change: Contribution of Working Group I, Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander , N. Harris, A. Kattenburg and K. Maskell, eds. Cambridge University Press , Cambridge. 572pp.

IPCC, WGI. 2001. Climate change 2001. The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. Van Der Lindon, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson, eds. Cambridge University Press, Cambridge. 881pp.

Juang, H-M. H. And M. Kanamitsu. 1994.The NMC nested regional spectral model. Mon. Wea. Rev. 122: 3-26.

Kiehl, J. T., J. Hack, G. Bonam, B. Brlegleb, D. Williamson and P. Rash. 1996: Description of the NCAR coummity climate model (CCM3). NCAR Technical Note NCAR/TN-420+sTR, Boulder, Colorado, USA.

The Impacts of Doubled Greenhouse Gases on the Regional Climate and Water Resource over Taiwan

Ming-Chin Wu[1], Ching-Ping Tung[2] and Shyh-Chin Chen[3]
[1] Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan (ROC)
[2] Department of Bio-environmental Systems Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan (ROC)
[3] Experimental Climate Prediction Center, Scripps Institute of Oceanography, University of California-San Diego, CA, USA
E-mail: wu@wu.as.ntu.edu.tw

Abstract

It is to investigate the impacts of doubled greenhouse gases on the regional climate and water resource over Taiwan through numerical model simulation. At first, the impacts on the regional climate was evaluated through applying a nested NCAR Community Climate Model (CCM3) and NCEP Regional Spectral Model (RSM-96V) system to simulate the regional climates for the current and doubled CO_2 scenarios ($1 \times CO_2$ and $2 \times CO_2$, respectively). Three different resolution RSM runs had been done. They were 280㎞×280㎞ (RSM0, same resolution as CCM3), 50㎞×50㎞ (RSM1),and 15㎞X 15㎞ (RSM2). RSM0 was run as a comparison basis to remove climate model effects between CCM3 and RSM. The output of 10 winters and 10 summers of current CO_2 scenario runs and doubled CO_2 scenario runs respectively were examined. It was shown that noticeable differences between CCM3 and RSM0 simulations appeared, indicating the mismatched of the model physics. Seasonally and geographically dependent precipitation patterns over Taiwan area were reasonably enhanced by RSM from the imposed CCM3 simulations, while the RSM2 reproduced the precipitation pattern most close to the observation. However, the magnitude, especially during winter time, seems to be somewhat overestimated. The precipitation frequency characteristics were reasonable only for summer time simulation. RSM1 and RSM2 projected statistically significant increase of winter time precipitation over northeast Taiwan accompanied by an increase in surface temperature over the lee side of western coast plain and an increase of wet day probability over Taiwan in both seasons. In order to investigate the impacts of global change on the regional water resource over Taiwan from the supplying side, a GWLF

hydrological model was applied to simulate stream flows and ground water refill driven by the various climate model output. Four watersheds over Taiwan were selected to represent northern, central, southern and eastern region of Taiwan. The outputs of climate model simulations as well as the observations were used in a daily weather generating model to generate area daily hydro-meteorological parameters. They included mean surface temperature, precipitation, and unconditional and conditional wet day probability. The statistics of these parameters were estimated and applied to the hydrological model. It was projected that annual stream flows of the four areas except the southern in spring will increase based on RSM0 prediction, and those in the eastern watershed might have largest increase. The RSM2 tend to predict small and reasonable change of weather parameters, which further resulted in smaller and consistent increase of stream flows. However, RSM1 predicted that the stream flow of the southern decreased in spring and the stream flow of the central decreased all year round. It was projected that the ground water refill over the four areas will be increased except those of RSM1 over the central all year round and over the southern in summer, fall and winter.Furthermore, to investigate the global change impacts on the regional water resource over Taiwan from the demanding side, a model system including climate model, hydrological model, and irrigation water demand assessment model was applied. Irrigation-water demand was quite closely related to the air temperature. The RSM projected that the irrigation demand will be decreased except in the central Taiwan due to the plant growth season become earlier and shorten.

Key words: Global climate change, Water resources, Regional climate model, Hydrological model, Stream flow, Ground water refill, Irrigation demand.

3 中央氣象局突變天氣預報與颱風警報作業現況

陳來發
交通部中央氣象局第三組
E-mail:kenchen@cwb.gov.tw

摘要 -- 26
壹、前言 -- 26
貳、短、中期天氣預報 ------------------------------ 26
參、颱風預報與警報作業 ---------------------------- 30
肆、結語 -- 35
伍、參考文獻 ------------------------------------ 35
英文摘要 -- 36

3 中央氣象局突變天氣預報與颱風警報作業現況

陳來發
交通部中央氣象局第三組
E-mail:kenchen@cwb.gov.tw

摘要

本文是針對中央氣象局現行突變天氣預報及颱風警報作業之實際狀況做一簡要說明，希望讀者能透過此一敘述，對預報產品的定義、內容、發布次數、預報流程及使用工具與方法，甚至預報的決策過程及預報產品之準確度等有進一步的瞭解，加強使用者對預報資訊的認識及有效應用的能力。文內除了敘述與劇烈性天氣預報直接有關的短、中期天氣預報作業及颱風預報與警報作業等作業現況之外，並列舉各種氣象預報資訊傳遞管道，以方便社會各界快速獲取氣象預報資訊，提高預報資訊的傳遞時效和使用率。隨著氣象與資訊科技的不斷快速發展，預報作業的現代化是一個無法停止的長期持續性工作和目標，而每個階段性現代化預報作業的成功，都必須具備有高解析度四維觀測資料的應用技術、客觀量化的預報指引和預報作業系統的開發、人性化精緻實用的預報產品及不斷自我評鑑能力等特質和積極進取的專業預報人員四項條件，才能完成。

關鍵詞：突變天氣、預報指引、作業程序、颱風警報。

壹、前言

台灣地區由於地理位置的關係，每年因颱風、豪雨、寒潮、乾旱和冰雹、強風等災害性劇烈天氣造成直接的財物損失約達新台幣一百七十四億元之多，加上近年來我國經濟快速發展，各行各業對氣象資訊的需求日益殷切，氣象資訊已受到應有的重視和普遍應用，為了讓使用者能進一步瞭解和認識預報產品製作與準備之過程，從而能更有效、精確地使用氣象預報資訊，有必要將預報作業做一說明。由於預報的各項發布、時效以及作業方式或有不同，因此將其分為短、中期天氣預報作業和颱風預報與警報作業，並分別如以下之介紹。

貳、短、中期天氣預報

中央氣象局目前對台灣地區發布之短、中期天氣預報有效時間分別包含未來1至2天及3至7天。此外對於較為特殊天氣變化發布特殊天氣預報，例如豪雨、大雨、

強風、濃霧、低溫及焚風等。預報範圍除陸地上之外，對於台灣鄰近海域以及大陸沿海，也發布近海漁業氣象及三天漁業預報。

一、預報內容與發布次數

1.短期天氣預報：主要針對今、明日（48小時內）之天氣變化，預報內容的時間間隔以每12小時爲一有效時段，預報範圍包含台灣、金門及馬祖地區，以行政區域劃分爲22個預報分區，每六小時更新資料，一天共發布四次預報。

2.中期天氣預報：目前以一周天氣預報爲主，包含台灣、金門及馬祖地區，惟預報分區則以地理分區爲主，如北部、中部、南部、東北部、東部及東南部等。另綜合農事建議，發布一周農業氣象預報。

3.突變天氣預報：當觀測到或預報將有豪雨、大雨、濃霧、低溫、強風、焚風等災害性劇烈天氣時，各類特殊天氣依據預報作業規範中之突變天氣定義(表1)，視情況隨時對某特定地區發布突變天氣特報，以提醒民眾注意防範。

4.漁業預報：包含近海漁業預報，及三天漁業預報，在近海漁業預報方面，主要預報台灣附近海面未來24小時之風級、浪級和天氣型態。三天漁業預報預報範圍較廣，除台灣附近海域外，亦包含大陸沿海及南海海域。

二、預報指引與預報方法

早年天氣預報以主觀方法爲主，由於受限於預報人員的學識及經驗，僅能預報短期內之綜觀天氣變化，在預報的準確度及時效上，有相當的極限。近年來由於數值天氣預報能力的進步，加上電子計算機運算速度的增進，目前天氣預報已經架構在數值天氣預報產品的應用上，以數值天氣預報產品做爲天氣預報之主要指引。不過，數值天氣預報並非萬靈丹，受到觀測資料、物理參數化、數值方法等限制下，數值天氣預報仍存在著誤差，且與預報時間成正比。因此，預報人員必須不斷進行數值預報模式之校驗及比對實際天氣，了

表1. 突變天氣定義。

突變天氣	定義
豪雨	每小時雨量超過15公厘之連續性大雨，且日雨量超過130公厘以上者。
大雨	每小時雨量超過15公厘之連續性大雨，且日雨量超過50公厘以上者。
濃霧	陸地之能見度不足200公尺，或港區航道之能見度不足500公尺者。
低溫	平地氣溫降至攝氏10度以下者。
強風	有顯著風變，或平均風力增強至6級或陣風8級以上者。
焚風	當風速驟增、氣溫上升，相對溼度明顯下降，有乾熱風發生時。

解數值天氣預報產品的特性，方能有效發揮數值天氣預報產品之優點。以下將簡單介紹目前中央氣象局預報中心在應用數值天氣預報之作業程序：

1.正確之觀測資料分析：結合地面至高空天氣圖並配合衛星、雷達資料，預報人員做主觀分析，以期了解目前存在之天氣之特性。

2.模式初始場之檢查：與上述主觀分析比較，檢查是否有因客觀分析所造成天氣系統的強度或位置之誤差，列入修正模式預報之參考。

3.模式最近期間的預報誤差檢查：檢查模式在最近期間是否有天氣系統的強度或位置之預報誤差，並假設其可能重複出現，用以修正模式的預報。

4.模式系統性誤差檢查：檢查模式長時期統計及不同的季所表現之誤差狀況，用以修正模式的預測。

5.天氣系統垂直結構一致性之檢查：檢查模式所預報天氣系統之垂直結構是否合理，若有不合理的情況則必須根據學理加以修正。

以上爲預報人員在應用天氣預報產品之前，所必須做的檢查，再依此檢查結果，適度的修正天氣預報。換言之，這就是人機混合(Man-Machine Mix)作業程序，預報人員便依此預報短、中期天氣預報。至於特殊天氣預報，除了依此作業程序外，目前正積極與美國預報系統實驗室及國家劇烈風暴實驗室合作發展適合台灣地區的區域分析預報系統(Local Analysis and Prediction System, LAPS)及警報決策支援系統(Warning Decision Support System, WDSS)及定量降雨估計等即時及極短時天氣預報技術，以增進突變天氣的監測與預警能力。

三、預報決策過程

天氣預報內容的決定，主要是透過每日上午9時與下午2時15分預報討論會的形式獲得共識(表2)。預報討論會由一位資深預報員召開，預報中心相關主管、各預報席位預報員、衛星中心衛星雲圖分析人員、海象中心分析人員及數值天氣預報小組等共同參與。會中各相關預報及分析人員分別報告實際天氣概況、衛星雲圖分析、各類數值模式產品校驗及比較、海面波浪分析及預報等。依照上節所述之預報程序，再經過討論後，由資深預報員總結，並依照討論結果，繪製天氣預報圖。對於可能發生災害性劇烈天氣則再針對發布突變天氣特報之區域、種類和內容及處理方式詳加討論決定。

四、預報作業工具

爲有效幫助預報人員對於預報資料的整合及應用，氣象局於1992年建置完成第一代即時天氣預報系統(Weather Integration and Nowcasting System I, WINS)。WINS可以即時收集處理各類數值天氣預報產品及觀測資料包括傳統觀測資料、遙測站觀測資料、衛星雲圖及雷達資料等，並可即時多功能的顯示相關資料。由於大量減少預報人員整理資料之人力，更增加各類資料整合之能力，不但提升即時天氣預報的時效，同時對短期天氣預報的守視分析及中期天氣預報應用的數值預報產品的校驗及比對亦有莫大的助益。爲更提升預報產品的應用品質，第二代WINS也已經完成，並提供作業單位使用。有別第一代以圖形儲存的類比顯示，第二代WINS完全以原始資

表2. 預報討論會程序表。

項目	內容
時間	每日早上9：00及下午02：15開始
地點	預報中心預報討論室
與會單位	預報中心、衛星中心、海象中心、NWP小組
程序	1.綜觀及中尺度之實際天氣概述(預報中心)
	2.衛星雲圖分析(衛星中心)
	3.模式初始場垂直結構之檢查(衛星中心)
	4.全球模式之校驗及預報：(預報中心)
	a.模式最近期間之預報檢查
	b.模式系統性誤差之檢查
	c.各類全球模式之比較
	5.區域模式之校驗及預報：(預報中心)
	a.模式最近期間之預報檢查
	b.模式系統性誤差之檢查
	c.各類全球模式之比較
	6.海上波浪分析及預報(海象中心)
	7.Man-Machine-Mix Prog.(預報中心)
	8.QPF

料格式儲存，以即時繪圖的功能，提升資料分析應用之能力。目前正進行第三代WINS的發展。

除了天氣預報資料顯示之工具外，天氣預報產品的編輯及輸出，也是預報作業的重要工具之一。目前預報產品的編輯系統，大多在視窗環境下完成編輯，透過網路傳輸至各使用單位。

五、預報考核

由於中央氣象局對外發布之預報項目相當繁多，有些項目(例如海面風力預報)，甚至缺乏校驗之觀測資料。另外，由於預報時段及分區範圍，也有更改的情形(例如1997年短期預報時段由24小時改為12小時，2001年2月由16區增為22區)，不利於長期準確度的評估。所以對於氣象局發布之各預報因子的校驗，尚不易建立完整之校驗制度，求得各類預報因子的準確度。

根據1993至1997中央氣象局降雨機率預報，校驗結果顯示，逐年的降雨機率預報技術得分有年年提高之趨勢，五年平均之技術得分約0.167，台灣各分區之技術得分方面，有北高南低，西高東低的現象。三月及五月之整體技術得分最高，在季節轉換之月份(如四月及十一月)其預報技術有

下降的情形。

另統計1992-2000年一周預報逐日預報降雨及天空狀況之校驗平均得分，得知第一天之預報百分數得分約爲90，第二至第五天仍在80以上，第六及第七天則在80以下，顯示預報的時效越長其準確率有遞減情形(表3)。

參、颱風預報與警報作業

颱風是誕生在熱帶海洋上的劇烈天氣，由熱帶大氣內的擾動在適當氣象條件下逐漸發展而成，當熱帶性低氣壓中心附近平均風力增強到八級(約每小時62公里或每秒17.2公尺)時就成爲颱風，其所挾帶的強風、豪雨與暴潮常使通過地區發生嚴重災害。

在北太平洋西部海域及南海海面上平均每年約有27.3個颱風誕生(如表4)，其中有3-4個颱風會侵襲台灣(如表5)，根據過去記錄，一年之中每個月都可能有颱風形成，不過侵襲台灣的颱風祇發生在每年的四至十一月，其中又以七、八、九三個月次數最多，被稱爲是台灣的颱風季。

台灣地處北太平洋西部，爲颱風路徑常經之地。根據中央氣象局近20年統計資料顯示，台灣地區因颱風造成災害之直接財務損失平均一年約新臺幣一百三十億元，約佔所有氣象災害損失的75%左右，尤其近年來我國各項建設蓬勃發展，工商經濟活動頻仍，一旦遭遇颱風侵襲，造成的衝擊將更爲嚴重，因此社會大眾更須共同重視防颱工作，並對颱風應有所認識及採取防範措施。

一、颱風的源地與生成條件

颱風並非是我們這地方獨有的天氣現象，也非所有的熱帶洋面上均會發生此種天氣系統。資料顯示，發生颱風的海域有六，即：1.北太平洋西部及中國南海，2.大

表3. 一週預報逐日校驗平均得分。

逐日預報 年份	第一天	第二天	第三天	第四天	第五天	第六天	第七天
1992-2000	90	86	84	83	81	79	78

表4. 1960年-1999年北太平洋颱風發生數。

月份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	全年
總數	20	9	16	33	42	69	168	221	202	161	103	49	1093
平均	0.50	0.23	0.40	0.83	1.05	1.73	4.20	5.53	5.05	4.03	2.58	1.23	27.33
百分比(%)	1.8	0.8	1.5	3.0	3.8	6.3	15.4	20.2	18.5	14.7	9.4	4.5	100

表5. 1960年-1999年北太平洋颱風侵台數。

月份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	全年
總數	0	0	0	1	4	12	30	38	29	13	1	0	128
平均	0.00	0.00	0.00	0.03	0.10	0.30	0.75	0.95	0.73	0.33	0.03	0.00	3.20
百分比(%)	0.0	0.0	0.0	0.8	3.1	9.4	23.4	29.7	22.7	10.2	0.8	0.0	100

西洋西部、加勒比海及墨西哥，3.北印度洋、阿拉伯海及孟加拉灣，4.北太平洋東部，5.南印度洋，及6.南太平洋西部和澳洲西北部。以上各地區發生的熱帶氣旋，雖同爲一種的天氣系統，但各地的稱呼則有不同：發生於北太平洋西部及中國南海者稱爲颱風(Typhoon)；在大西洋、加勒比海、墨西哥灣和北太平洋東部者稱爲颶風(Hurricane)；在印度洋上稱爲氣旋或旋風(Cyclone)。

上述各海域雖爲颱風生成的源地，但並非隨時都會有颱風發生，須有適當的條件才可。一般而言，形成颱風之有利條件有：

1.寬廣溫暖的洋面，其海水面溫度高於26℃。

2.緯度5-20度附近。

3.有一封閉低壓呈氣旋式旋轉環流存在。

4.高低對流層風速不可相差太大(即垂直風切要小)。

5.低對流層輻合、高對流層輻散。

二、颱風強度標準的劃分

颱風的強度是以近中心附近平均最大風速爲準，劃分爲輕度颱風、中度颱風及強烈颱風。假設颱風風力爲一圓型對稱的分布，中心附近爲颱風最強風之所在，當一熱帶氣旋中心附近平均風速達6至7級時，稱爲熱帶性低氣壓，若增強至8至11級時爲輕度颱風，12至15級爲中度颱風，16級以上則爲強烈颱風(如表6)。

三、颱風名稱的由來

表6. 颱風強度分類表。

颱風強度	近中心最大風速			
	每時公里	每秒公尺	每時浬	相當蒲福風級
輕度颱風	62-117	17.20-32.60	34-63	8-11
中度颱風	118-183	32.70-50.90	64-99	12-15
強烈颱風	184以上	51.0以上	100以上	16以上

北太平洋西部及南海颱風自1947年開始由設於關島的美軍聯合颱風警報中心統一命名，早期命名方式全以女性名字依英文字母列命名，1979年開始改以男女名字相間的順序命名，使用名字曾於1989年及1996年兩度變更。

依照1998年12月在菲律賓馬尼拉召開的第31屆颱風委員會決議，自公元2000年元月一日起，在國際航空及航海上使用之颱風統一識別方式，除了編號方式不變之外(例如公元2000年第1個颱風編號為0001)，颱風名稱將由原4組92個名字全部更換，並增加為140個(之後根據颱風委員會第33屆會議決議，於民國九十一年起再行變更其中六個名字)，共分為5組，每組28個，這些名字是由北太平洋西部及南海海域國家或地區，14個颱風委員會成員所提供(每個成員提供10個)。由設於日本東京隸屬世界氣象組織之區域專業氣象中心(RSMC)負責依排定之順序統一命名。至於各國(或地區)轄區內部之颱風報導是否使用這些颱風名字，則由各國(或地區)自行決定。

由於新的140個颱風名字原文來自不同國家及地區，不是慣用的人名，而是包括動物、植物、星象、地名、人名、神話人物、珠寶等各詞，且非按英文A至Z的排序，十分複雜而不規律。氣象局為因應世界氣象組織颱風委員會對西太平洋及南海地區颱風命名的變革，自八十九年元月一日中央氣象局報導颱風消息時，改以編號為主，颱風委員會之國際命名為輔。

四、颱風災害

台灣位於颱風路徑要衝，每年幾乎都會有颱風災害，根據統計從民國50年到85年間，台灣地區因颱風而死亡人數高達2663人，受傷8299人，房屋全倒和半倒約超過26萬5千間。個別颱風造成的財物損失由數百萬至數百億不等，人員死亡方面以民國85年造成土石流淹埋神木村的賀伯颱風73人、民國75年由西部登陸的韋恩87人，以及民國52年的葛樂禮數百人死亡最為慘重。但是根據過去經驗，吾人若能有效掌握颱風資訊，做出正確颱風預報和防颱措施，則可以使災害降至最低。例如民國83年10月10日的席斯颱風，在中央氣象局提出正確的預報後，決策單位決定將國慶戶外重大慶祝活動延期舉行，該日北部、東北部地區果然受颱風暴風範圍侵襲而出現強風豪雨，有6人死亡、5人失蹤、8人受傷，試想若是慶典未經延期，則災情勢必不僅於此。

颱風帶來大風大雨，其常造成的災害包括暴風、暴潮、洪水、坍方、土石流以及焚風和鹽風等，所到之處屋倒樹拔，橋斷路毀。一般而言，颱風對一地區造成災害之大小，乃與颱風強度、颱風範圍大小、颱風行進速度的快慢，該地區與颱風的相對位置及地形等因素以及防颱工作是否落實有關。

五、警報發布作業

中央氣象局氣象預報中心預報人員平時每天廿四小時隨時監視各種天氣變化，只要有颱風可能形成時，立即加強守視，颱風形成後就加以編號及使用國際命名，並在每天發布四次氣象預報中，報導颱風的動態及預報其未來變化，如颱風移近台灣或金門、馬祖，有可能侵襲其陸地或四周圍一百公里近海時，就會成立「颱風預報工作小組」，負責颱風警報的發布工作。

1.颱風警報發布標準

自民國六十五年起為配合航海漁業者需求及加強服務，只要在東經一百八十度以西之北太平洋及南海上有颱風發生時，皆要以英文分析電報對國際廣播，以供遠洋航行船隻參考，另於每日氣象報告中亦需加以報導，當颱風行徑達下列規定時，立即發布颱風警報：

(1)海上颱風警報－預測颱風的七級風暴風範圍可能侵襲台灣或金門、馬祖一百公里以內海域時之前廿四小時，應即發布「海上颱風警報」。以後每隔三小時發布一次，必要時得加發之。

(2)海上陸上颱風警報－預測颱風的七級風暴風範圍可能侵襲台灣或金門、馬祖陸上時之前十八小時，應即發布「海上陸上颱風警報」。以後每隔三小時發布一次，必要時得加發之。

(3)解除颱風警報－當颱風的七級風暴風範圍離開台灣或金門、馬祖陸地，但仍未離一百公里近海時，改發海上颱風警報，如一百公里近海亦離開時，應即發布解除颱風警報。颱風轉向或消滅時，得直接解除颱風警報。

從颱風警報發布規定可知警報的發布一般是先發布海上颱風警報，颱風如移近台灣可能侵襲陸地時則發布海上陸上颱風警報。當颱風離開先由海上陸上颱風警報改為海上颱風警報，最後是解除颱風警報。但有時在颱風尚未形成之熱帶性低氣壓階段即到達台灣附近，這時以處理突變天氣方式發布「熱帶性低氣壓特報」或「熱帶性低氣壓警報」，先預行警告並呼籲防範熱帶性低氣壓帶來之威脅及注意其強度變化。一旦增強為颱風且對台灣陸地及海面均構成威脅時，立即發布海上陸上颱風警報，這時就沒有廿四、十八小時預警時間。另外也有颱風在台灣附近並未離開，但強度減弱變成熱帶性低氣壓，這時就立即發布解除颱風警報，但仍會以突變天氣處理，發布熱帶性低氣壓特報，直到離去無威脅為止。

2.颱風警報作業過程

颱風警報作業過程大致可分為資料收集、分析研判與預報及發布警報等三大步驟。各步驟分別說明如下：

(1)資料收集：當颱風接近台灣時，中央氣象局除透過全球氣象通信網路，收集世界各地每三至六小時一次的氣象觀測報告之外，分布台灣各地的廿四個氣象站及花蓮、高雄及五分山氣象雷達站即進入密集觀測作業狀態，每小時將觀測資料傳送台北局本部；氣象衛星中心亦每小時接收日本地球同步氣象衛星拍攝之雲圖，並將分析所得之颱風中心位置與強度變化等資料，提供颱風預報工作小組研判應用。

(2)分析研判與預報：各項資料先經工作小組成員詳細分析之後，並每日定時(八時、十四時、二十時及清晨二時)舉行颱風預報討論會(表7)，詳細討論有關颱風之中心定位、四十八小時之路徑預報、未來三至七天台灣地區的天氣變化、颱風對台灣地區可能造成之影響、各地風、雨之預測，最後決定警報發布的階段及警報內容包括警報涵蓋區域與警戒事項等。颱風中心定位、強度及暴風範圍之決定，係參考氣象衛星資料、地面觀測資料及氣象雷達觀測資料等之綜合分析結果，路徑預報則除了分析研判其環境駛流場外，並參考HURRAN，CLIPER等統計預報方法和

表7. 颱風預報討論會討論流程表。

時間	內　容
T-1	資料收集及分析
	1.預先定位
	2.颱風路徑分析
	3.綜觀天氣系統分析
	4.衛星雲圖分析
	5.雷達資料分析
	6.台灣地區附近局部環流及風雨分析
	7.全球/區域數值預報模式之校驗及預報
	a.初始場校驗
	b.垂直一致性校驗
	c.系統性誤差校驗
	d.近況誤差校驗
	e.模式預報
	8.颱風路徑預報模式之討論
	a.統計模式路徑預報
	b.動力模式路徑預報
	9.編輯颱風警報單之草稿
T+0	召開颱風預報討論會
	1.天氣資料簡報
	2.討論並決定颱風之定位
	3.討論並決定颱風之相關預報資料（預報路徑、強度、暴風範圍等）
	4.討論並決定警報之層次（海上/海上陸上颱風警報）及警戒範圍
	5.討論並決定颱風警報單之內容
	6.討論並決定各地區之風雨分布（視情況）
	7.討論並預測颱風中心登陸之時間及地點（視情況）
T+1	發布颱風警報

T表示颱風討論會召開時間(AM0200及0800,PM0200及0800)，-1、＋1表示前後一小時。

PE、EBM及TFS等颱風模式之預報，另外國內、外之數值預報模式產品及人爲經驗個案類比等主觀研判之結果亦爲重要決策參考。至於颱風可能影響之各地風力及雨量預測，目前仍以統計方法爲主。

(3)發布警報：在颱風警報階段，每三小時發布一次颱風警報，利用自動化電話傳眞、點對點服務系統、電子郵件(E-mail)等方式迅速將警報資訊傳送各政府機構、災害防救單位、大眾傳播機構和各地方氣象站，及直接透過『一六六、一六七』氣象服務電話報導颱風警報消息，並每日分別於5:00、10:00、11:00、16:30、21:00五次舉行颱風警報記者說明會，及與21家廣播電台每日40次即時連線報導，民眾也可利用國際網際網路(www)(網址：HTTP://www.cwb.gov.tw)或傳眞語音回覆系統(FOD)〔020303166〕，隨時取得最新颱風警報資訊。同時中央氣象局以英文分析電報及無線電傳眞方式對國際廣播，提供給航行海上之船舶及作業漁船應用，適時採取避風措施。各地氣象站收到警報資料後，即用電話傳眞機轉送地方政府、防颱單位、大眾傳播機構。另外，於陸上颱風警報期間每小時須加發一次最新動態消息，並依行政院人事行政局「天然災害發生時停止辦公及上課作業要點」之規定於上午五時、十時、下午五時及晚間十時前通報各權責機關，並傳送各媒體發布供大眾參考應用，務使全國民眾能由多重管道迅速得知颱風最新動態及可能之影響，及早做好防颱準備。

肆、結語

隨著氣象與資訊科技的快速發展，預報與警報作業已有顯著的改進，預報能力持續不斷提高，警報通報及防災體系亦日趨健全，並反應在預報的準確率及預警時效上。而一個成功的現代化預報與警報作業，除了隨著時代的脈動前進之外，最重要的是要有受過良好學術與技術訓練的優秀預報人員、成熟的高解析度四維觀測資料應用技術、客觀量化的預報指引、整合性預報作業工具、人性化精緻實用的預報產品及不斷自我評鑑能力等特質，並建立多元化快速資訊輸管道，才能使預報與警報能充分發揮效能，氣象服務品質獲得保證。

伍、參考文獻

中央氣象局。1998。“氣象作業預報作業規範”修訂本。中央氣象局出版，台北市。

交通部。2002。“交通政策白皮書：氣象”。交通部出版，台北市。

An Introduction to the Operational Procedures of Severe Weather and Typhoon Forecasts / Warnings

Kenneth Lai-Fa Chen
Applied Meteorology Division, Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan (ROC)
E-mail:kenchen@cwb.gov.tw

Abstract

The hazard weather events over Taiwan area cause a damage cost of about 17.4 billion NT dollars per year on average. The purpose of this article is to describe the Operational Procedures of the severe weather forecasts and warnings issued at the Central Weather Bureau (CWB). The definition, contain and frequency of issuance for the forecast/warning products are mentioned. The forecast guidance and the forecast tools implemented at the weather Forecast Center of CWB are also introduced in this paper. In order to promote public safety and economic efficiency, the CWB has provided better forecast and warning services through various product dissemination channels recently. Finally, the author highlights some essential efforts to be accomplished to ensure a success to the modernization of severe weather forecast/warning operation.

Key words: Sereve weather, Forecast guidance, Operational procedure, Typhoon warning.

4 臺灣的颱風、暴雨災害量化分析

吳瑞賢、蘇文瑞、廖偉民、張志誠
國立中央大學土木工程學系
E-mail:rswu@ncuen.ncu.edu.tw

摘要 -- 38
壹、研究方法 -------------------------------- 38
貳、颱風豪雨災害分類與分析 ---------------------- 46
參、豪雨分類與分析 ---------------------------- 48
肆、結語與建議 -------------------------------- 48
伍、誌謝 ------------------------------------ 50
陸、參考文獻 --------------------------------- 50
英文摘要 ------------------------------------ 52

4 臺灣的颱風、暴雨災害量化分析

吳瑞賢、蘇文瑞、廖偉民、張志誠
國立中央大學土木工程學系
E-mail:rswu@ncuen.ncu.edu.tw

摘要

臺灣地處亞熱帶，並位於西太平洋颱風區，每年七月至十月爲颱風侵襲的主要期間，平均每年有3.5個颱風與多次豪雨侵襲，根據經濟部水利署統計近13-16年的颱風豪雨資料，發現每年平均造成3000間房屋受損，約有128億元金額損失。有鑑於此，本研究蒐集統計處理完成的各項颱風豪雨災害調查資料，配合颱風豪雨的降雨分佈進行交叉比對量化分析，求得彼此間的關連性，以了解各項因子對於災害發生與否及量級之影響程度。然後配合各項災害紀錄，建立彼此間的因果關係，完成不同降雨型態與災害分析。本研究結果發現，不同颱風路徑會對臺灣各地造成不同程度的累積降雨及災情。依據統計結果，颱風災害造成臺灣地區農林漁業、人員傷亡及房屋損毀，每場平均損失約20億元左右。若將臺灣分成北中南東四區域來看，當颱風累積降雨量在北部地區達200mm以上，中部地區達300mm以上，南部地區達350mm以上，東部地區達300mm以上時，各地區淹水機率即高達40%。「秋颱」爲秋天從臺灣南部北上之颱風，佔秋季颱風比例約60%，且由於颱風本身逆時鐘方向旋轉，加上東北季風影響，故不論其從臺灣西岸或東岸掠過，雨量均集中於東部。「西北颱」爲從臺灣北部經過之颱風，則會造成臺灣北部及中部集中降雨。

關鍵詞：颱風、暴雨、災害、量化分析。

壹、研究方法

本研究主要流程如圖1所示，首先進行自1946年至2001年颱風暴雨之相關資料蒐集，包含颱風路徑、降雨分佈、降雨延時、引致災害資料及淹水鄉鎮範圍等；接著將各類資料分類並加以分析整理，推求其致災相關性，並歸納出類似路徑及規模之颱風或暴雨發生時可能引致之災害，主要之進行步驟如圖1：

貳、颱風暴雨災害分類與分析

針對颱風與其所造成的災情，分析之步驟可分爲(1)將颱風以路徑分類，(2)將每場颱風所降雨量進行分析，(3)災害資料量化以利分析比較，(4)進行路徑、強度、淹水、河海堤、水庫放水等分析。

一、颱風路徑分析

西太平洋的颱風多半都形成在菲律賓

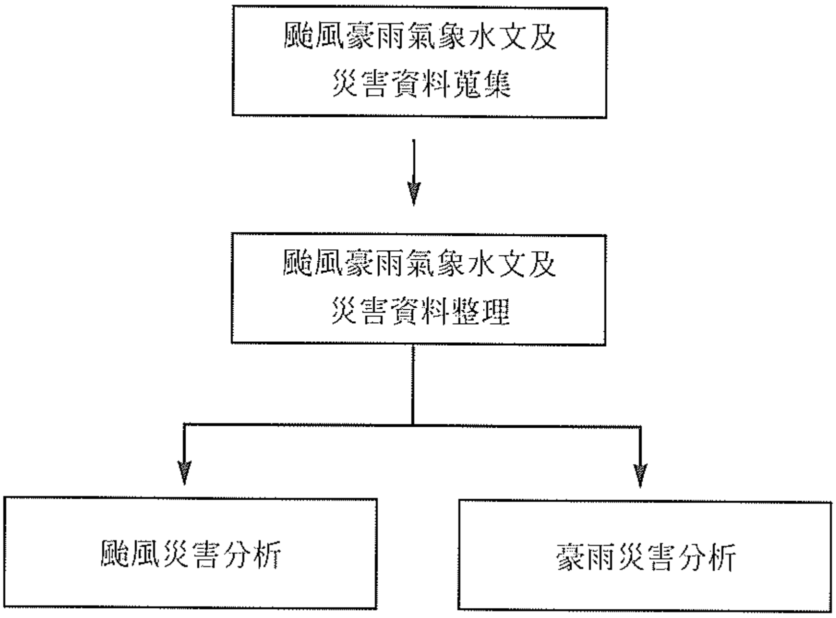


圖1. 研究流程圖。

以東的海面上，如加羅林群島等地，這些地方都是在北緯10度左右，也就是東北信風帶內。同時在太平洋上夏季經常有高氣壓，颱風形成後就跟隨高氣壓的環流向西或西北進行，有時會因氣流之牽引而有更偏北的路線。當颱風漸漸行進到北緯20度至30度間後，已到高氣壓的邊緣，而菲律賓、臺灣、琉球及日本爲西太平洋島嶼，位處颱風必經之路附近，常受颱風的侵襲而導致災害。

至於颱風路徑分類，目前氣象局則彙整颱風路徑，將其細分爲九大類如圖2所示，各種路徑概述如下：

1. 西行颱風相對於台灣分爲五類

(1) 第一類路徑：通過臺灣北部海面向西行或西北進行者。

(2) 第二類路徑：通過臺灣北部向西行或西北進行者。

(3) 第三類路徑：通過臺灣中部向西行或西北進行者。

(4) 第四類路徑：通過臺灣南部向西行或西北進行者。

(5) 第五類路徑：通過臺灣南部海面向西行或西北進行者。

2. 北行颱風分爲四類

(1) 第六類路徑：沿東岸或東部海面北上者。

(2) 第七類路徑：沿西岸或臺灣海峽北上者。

(3) 第八類路徑：通過臺灣南部海面向東或東北進行者。

(4) 第九類路徑：通過臺灣南部向東或東北進行者。

3. 非以上九類路徑者

除上述九類颱風以外，由於九類路徑並不能全然表現出多樣化的侵臺路徑，本研究決定加入第十類路徑，「其他路徑」。如2001年的納莉颱風就無法以上述九種路

徑分類，因而歸納爲其他路徑。

由圖3得知第五類路徑颱風多爲強度及中度颱風，推究其原因可能是在颱風西行的過程中並無呂宋島及臺灣本島的陸地阻擋，因此颱風強度能持續增強，雖然颱風中心不會直接侵襲臺灣本島，但其颱風環流會對東部及南部地區帶來豪雨，並造成低窪地區多次海水倒灌。

二、災害資料之蒐集與量化

由於颱風災害發生時間短，期間因交通與其他客觀限制因素，歷年來對災情調查分析內容並不詳細，且災後調查結果不易與實際受災情形頗有出入。颱風災害等級之分級的方式因人而異，若能在共同的比較基礎下，則分級的方式才具意義，否則就會失去比較的意義。

本研究考慮災害等級以災情評估指標爲主，並配合颱風致災因子來分析其相關性。研究方法採用災情綜合指標計算法，

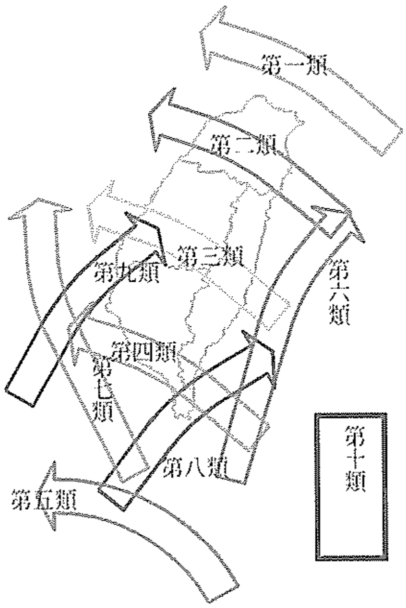


圖2. 颱風路徑分佈圖。

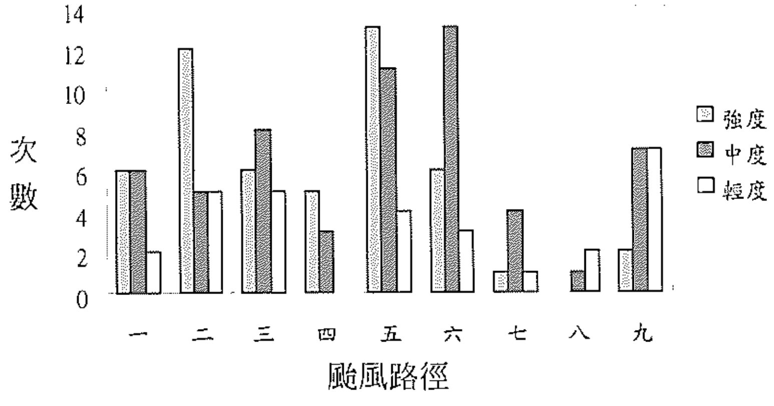


圖3. 不同路徑下之颱風強度統計圖。

災害等級主要考慮因子包括死亡失蹤、人員受傷、房屋損毀狀況、農漁業損失及淹水地區。由於災情的分佈以小災情佔多數，重大災情則佔少部分，因此會在分析上造成整個災情皆分佈於災情較小地帶。此結果會使得在災情指數在量化過程中，在災情差異極大的狀況下亦無明顯的分別，進而無法明確反應整個災情。因此將災情為零的次數與以剔除，研究範圍從1997年至2000年。本研究利用Weibull法計算五項災情累積機率，由累積機率圖(圖4)中可看出，小災情所佔之比例較高，因此整體而言累積機率會集中在災情較小處。

由上述累積機率圖4中可知，小災情所佔之比例較高，因此就整體而言，累積機率會集中在災情較小處。此外在農漁業損失方面，本研究採用行政院主計處公佈之1962年至2001年物價指數換算表，將其金額轉換為2001年之金額。在累積機率曲線意義部份，累積機率越高所對應之災害值則發生機率越低，例如農漁業損失方面，在累積機率0.90所對應的農業損失值為65.24億元，亦即表示前述的災情大約每十個致災颱風即會有一次達此金額。藉由累積機率曲線結果，我們將各項災情指數依照機率累積曲線來評定1-100分的指數，評分的方法即對照累積機率所對應的災情值，如上述農業損失為65.24億元，其分數即為90分，依此類推。為了簡化計算過程，本研究將分成十個區間，每個區間包含10%的分佈值，而超過累積機率100%以上的災害值即給于100分，各分數分界點及災害綜合指標值計算方法如表1所示。

由表2的結果可知，1996年的賀伯颱風是自1961年以來最嚴重的災情，災害綜合指標達90.9，其次是1969年艾爾西颱風，災害綜合指標達87.3，這兩個颱風之的災害綜合指標值特別高是因為其權重值較大之「農業損失因子」(權重值3)的災情中皆有相當重大的災情。第三名為1986年韋恩颱風，第四名為2001年桃芝颱風，不過由於桃芝颱風正確的農漁業損失及房屋損毀數得俟年底正確災情公佈後，其災害綜合指標值必會有增加的趨勢，因此桃芝颱風的指標值仍有可能再修正。

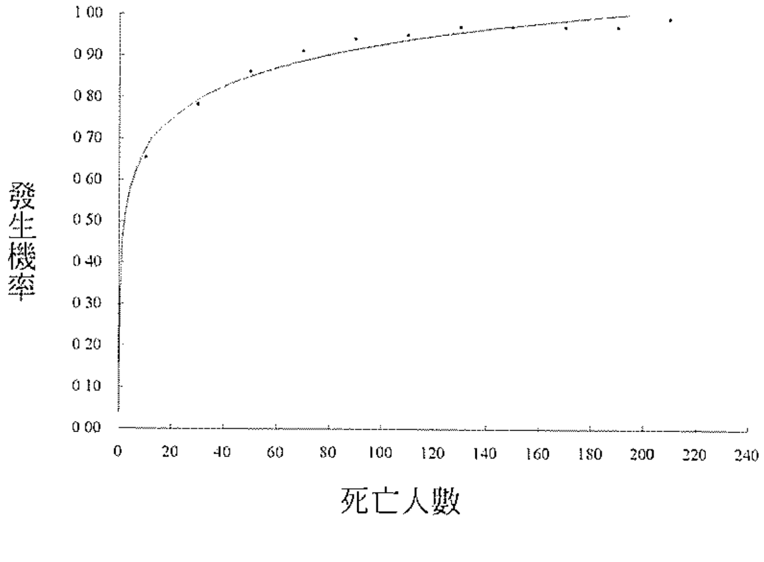


圖4. 死亡失蹤人數累積機率統計表。

三、各縣市平均累積雨量分析

本研究共蒐集129場完整的颱風雨降資料進行分析，並計算各縣市平均累積雨量機率圖，如圖5所示。其中各縣市平均累積雨量小於100mm的機率佔所有場次的大約50%，不過北部縣市整體平均累積雨量來看仍大於中、南及東部，而出現高累計雨量的機率則是北部及東部地區；但超過600mm以上的颱風比例不到5%。若以各縣市來分析，臺東縣、花蓮縣、屏東縣、宜蘭縣、臺北縣、基隆市及臺北市其累積降雨1,000mm以下的機率低於50%，且其累積降雨機率走勢較相似，不同於其他縣市，此五個縣市在100mm以下的機率較低；而基隆市與新竹縣曾發生過大於1,000mm的累積降雨。在相同的累積雨量下，各縣市發生的機率可由圖5看出若以小於100mm之累積雨量爲例，以澎湖縣發生的機率最高。

圖6可知中部及南部在小於100mm的累積雨量達65%，而北部與東部則是僅有50%；在100-500mm之間中部和南部則有30%，而北部與東部則高達45%。因此由此圖可得知，北部和東部雨量分佈較相近且屬於高累積雨量地區，而中南部則同屬於雨量分佈較小的地區。

四、西北颱所致災害分析

除了不同路徑之分析外，另外值得一提的是，臺灣北部、東北部及西部地區的民眾特別敏感的「西北颱」，其原因是此類颱風常給這些地區帶來嚴重的風災與水患。所謂的「西北颱」是颱風從臺灣東方海面向西北方進行，中心通過基隆與彭佳嶼之間海面，臺灣北部及西部地區多吹西

表1. 災害綜合指標計算方法。

災害名稱		死亡失蹤(人數)	受傷(人數)	房屋損毀(棟)	農漁業損失(百萬元)	淹水地區(鄉鎮數)
災害權重		3	1	2	3	2
災害等級之分數	0	0	0	0-2	0-29	0
	10	0	0	3-5	30-58	1
	20	0	0	6-12	59-114	2
	30	0	1	13-31	115-225	3
	40	1	2-4	32-76	226-441	4-5
	50	2-5	5-11	77-188	442-865	6-8
	60	6-13	12-29	189-464	866-1696	9-14
	70	14-31	30-72	465-1143	1697-3326	15-24
	80	32-79	73-174	1144-2813	3327-6523	25-40
	90	80-195	175-419	2814-6927	6524-12791	41-66
	100	195 以上	419 以上	6927 以上	12791 以上	66 以上

災害綜合指標=(3 × 死亡失蹤等級點數 + 1 × 受傷等級點數 +2 × 房屋損毀等級點數+ 3 × 農業損失等級點數 + 2 × 淹水地區等級點數)/11

北風，受地形影響雨勢特大，又因風向幾乎與海岸垂直，使積水不易宣洩，甚至引起海水倒灌，故此路徑的颱風爲害相當大，由於吹的是西北風故稱「西北颱」，歷史紀錄中共發生過8場，其相關災害與災害綜合指標值如表3所示。

五、強度分析

颱風強度大小，即代表著颱風風速的大小，也直接地影響著災情。由圖7中可以明顯的看出，隨著強度的增加，災情有著相對的提高。

表2. 重大颱風災害指標值。

颱風名稱	死亡失蹤(人數)		受傷(人數)		房屋損毀(棟)		農漁業損失(百萬元)		淹水地區(鄉鎮數)		災害綜合指標
權重	3		1		2		3		2		
分數	人數	分數	人數	分數	棟	分數	百萬元	分數	鄉鎮數	分數	
1996 賀伯	73	80	463	100	1383	80	17210	100	76	100	90.9
1969 艾爾西	105	90	371	90	32846	100	14587	100	6	50	87.3
1986 韋恩	87	90	422	100	38156	100	16762	100	5	40	86.4
2001 桃芝	214	100	189	90	1095	70	3373	80	40	80	84.5
1963 葛樂禮	312	100	450	100	24733	100	1799	60	21	70	83.6
1989 莎拉	52	80	47	70	1190	80	7768	90	31	80	81.8

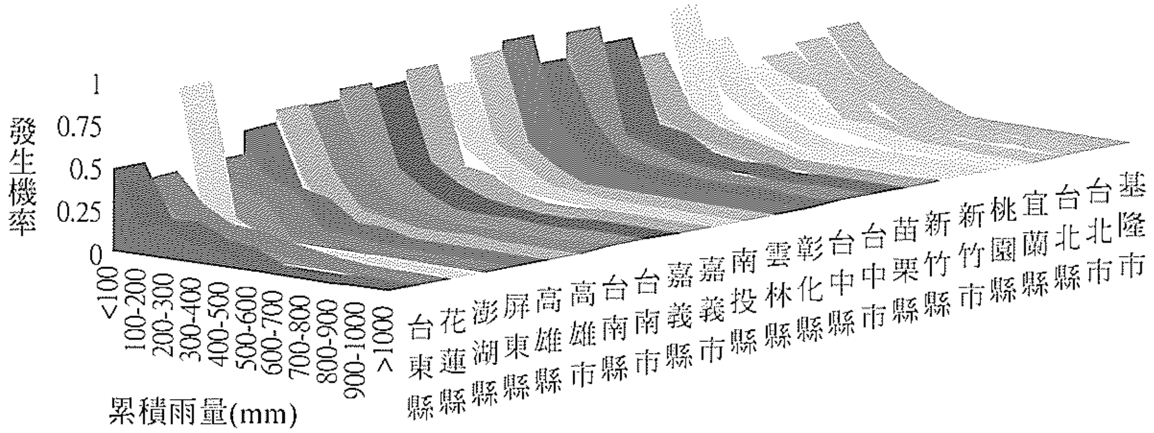


圖5. 各縣市累積降雨量機率圖。

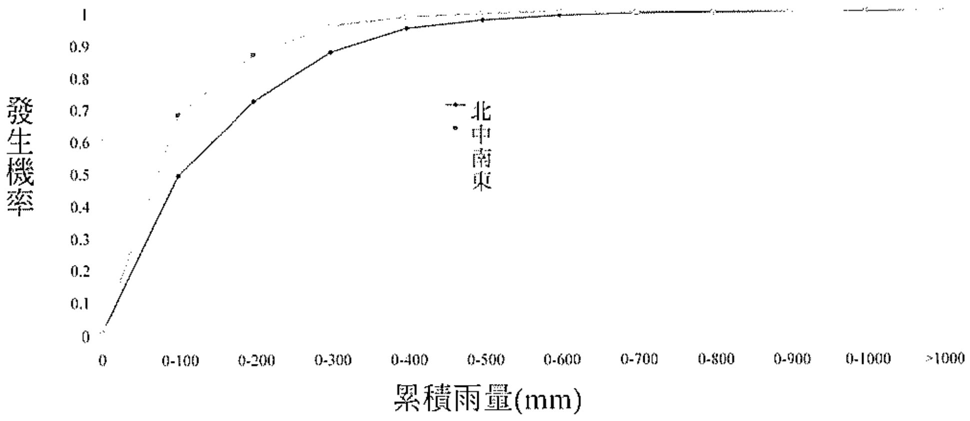


圖6. 各縣市累積降雨量機率圖(2)。

六、侵台時間分析

颱風侵臺時間通常介於每年五月至十一月之間，然介於九月至十一月的颱風，即所謂之「秋颱」。依據中央氣象局的定義(中央氣象局颱風百問，2001)，「秋颱」就是颱風從臺灣南邊經過，但是北方正好有東北季風南下，兩股勢力就會發展「共伴效應」，會爲北部及東北部地區帶來豪大雨。秋颱形成的因素主要是季節逐漸進入冬天，蒙古西伯利亞冷高壓勢力將會逐漸增強，而此時若秋颱出現在臺灣南方附近海域，將會增強整個東亞地區南北方向的氣壓梯度，造成較強烈的風出現。伴隨秋颱的對流雲系，加上冬季東北季風所帶來的東北風，將會在臺灣東部地區產生額外的水氣輻合，再加上臺灣特殊地形的影響，將會導致東半部出現較強的雨勢。至於秋颱的產生會造成什麼災情，主要還是取決於颱風侵臺的路徑。通常秋颱侵襲臺灣的路徑主要由臺灣南邊向北移動，若由臺灣東南方接近臺灣，則主要造成東部、東北部、北部以及山區的豪雨、強風；若由臺灣西南方移近臺灣，則會在臺灣西半部與東南部產生豪雨與強風。

北部地區影響較大的颱風有三種，第一爲「秋颱」、其次是「西北颱」、再其次則是颱風中心橫貫北部陸地的颱風，而最近15年來重創北臺灣的颱風中，以秋颱影響最爲嚴重。秋颱的特色就是只要北部地區進入颱風的勢力範圍，即便距離颱風中心很遠，但在東北季風推波助瀾下，就會導致豪雨成災。在過去的颱風史中，秋颱對北部地區所帶來的重大災害，甚至超過「西北颱」。

從1973年娜拉颱風、1987年的琳恩颱風以來，北部地區幾次重大災害的颱風中，1998年的瑞伯、巴比絲及2000年的象神，都是發生在十月到十一月之間的秋颱。當時東北季風正盛，颱風或許不是直接侵襲臺灣，但是卻都造成北部地區的大淹水，這就是秋颱的威力。本節主要針對秋颱所造成的災情加以探討，其侵臺月份與災害之關係如圖8所示。

由圖8的結果可看出，災害綜合指標值隨著進入夏季而有漸昇的趨勢，而到達最高峰的月份爲九月份。由於九月份已經進入秋颱時期，因此九、十及十一月的侵臺颱風災害綜合指標值也較七、八月來的高。不過秋颱的產生會造成什麼災情，主

表3. 西北颱災害綜合指標。

颱風名稱	死亡失蹤 (人數)		受傷 (人數)		房屋損毀 (棟)		農漁業損失 (百萬元)		淹水地區 (鄉鎮數)		災害綜合指標值
權重	3		1		2		3		2		
分數	人數	分數	人數	分數	棟	分數	百萬元	分數	鄉鎮數	分數	
1996 賀伯	73	80	463	100	1383	80	17210	100	76	100	91
1969 艾爾西	105	90	371	90	32846	100	14587	100	6	50	87
1963 葛樂禮	312	100	450	100	24733	100	1799	60	21	70	84
1971 貝絲	39	80	208	90	7078	100	1834	60	9	60	76
1970 芙安	130	90	47	70	2865	90	1754	60	9	60	75
1981 莫瑞	41	80	20	60	661	70	715	50	15	70	66
1972 貝蒂	27	70	17	60	1328	80	507	50	5	40	60
1985 尼爾森	10	60	24	60	23	30	1079	60	1	10	46

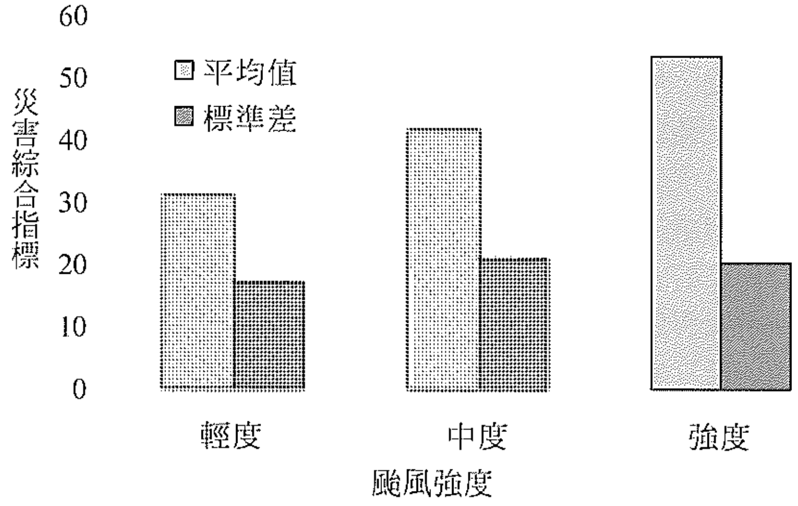


圖7. 颱風強度與災害綜合指標值。

要還是取決於颱風侵臺的路徑，並非每個秋颱即會造成重大損失。以十一月來說，計算於災害綜合指標值的三個颱風分別為1967年吉達颱風、2000年象神颱風及貝碧佳颱風其分數分別為64.5、60.9及11.8。然2000年貝碧佳颱風並無直接侵襲臺灣本島，而是於南海上空滯留一段期間便消失，若是不考慮貝碧佳颱風，則十一月的颱風災害綜合指標平均值將近60分！不過十一月颱風發生次數較少，因此有待未來更多資料進行分析。

七、侵台年代分析

若單純以產生災害的年代來分析，我們得到圖9，由圖中可知災害綜合指標值隨著年代的接近而有減少的趨勢，這和一般人認為近幾年來的天災特別嚴重的概念有著全然不同之結果。但若針對災情各細項

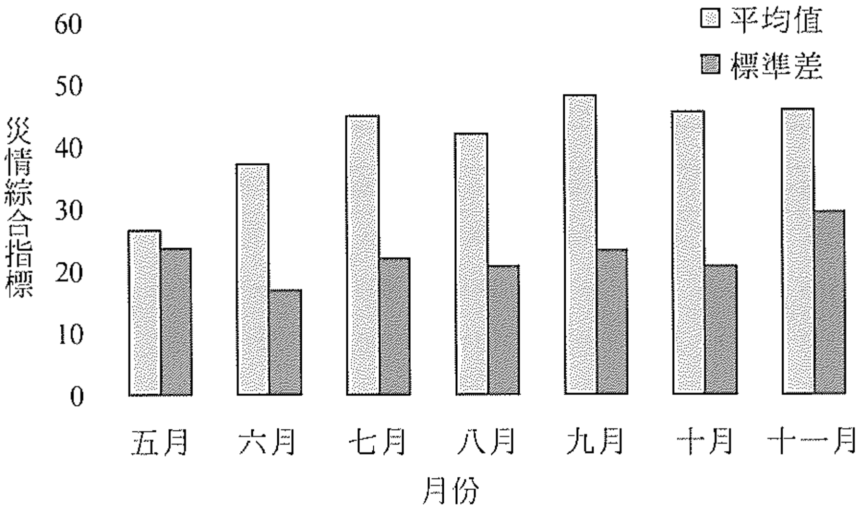


圖8. 颱風侵台月份與災害綜合指標值。

來看，在人員死亡失蹤、受傷及房屋受損方面則是隨著年代的增加而有減少的趨勢。這是因爲60與70年代資訊不發達，民眾無法即時得知天氣概況，加上防災觀念不足與房屋結構較今日不堅固的情況下，造成這方面的災情較今日來的嚴重許多。而在農漁業方面，經由物價指數的換算結果，我們發現農漁業損失於近十年反而有增多的趨勢，其原因可能與農產品在近幾年來多樣化且經濟價值較早期以稻米爲主的農產品爲高，因此農漁業受損的結果反而較以往來得多。

而在淹水鄉鎮數方面，近十年來則有增加的趨勢。這可能是因爲土地大量開發卻未規劃妥當，因此常造成一些新開發的鄉鎮及沿海地區在颱風來臨時便造成淹水地區。整體來說，近年來的災情因爲人民的防災觀念、媒體事前的報導及建築物的結構穩固，因此在人員傷亡有明顯的降低，而房屋損毀已由以往風雨吹垮的土塊屋變成因土石流失被沖毀的混凝土屋，所以從1981年以後，僅1986年韋恩、1989年莎拉、1996年賀伯、2000年碧利斯及2001年桃芝五場颱風有造成多於四百餘戶房屋倒塌。

參、豪雨分類與分析

一般豪雨的分佈是具有地域性的，且其特性爲在短時間降下極大的降雨量，因此對於豪雨的研究將著重在個別區域的淹水情形，以及降雨量與降雨強度的分佈概況。以中央氣象局對豪雨的定義爲：『每小時的雨量超過15mm的連續性大雨，且日雨量超過130mm以上者』。一般而言，豪雨的分佈是具有區域、局部等特性，在短時間降下極大的雨量。因此經常性的豪雨對某些區域會造成淹水或土石崩塌等災害。每年發生豪雨的次數相當多，但本研究針對導致災害發生的豪雨作探討，故由新聞媒體蒐集自1959年至2001年共74場致災豪雨，針對這74場致災豪雨研究其降雨分佈情形、降雨延時、降雨年代、月份與天數之關係，以探討這42年來豪雨變化的情形。

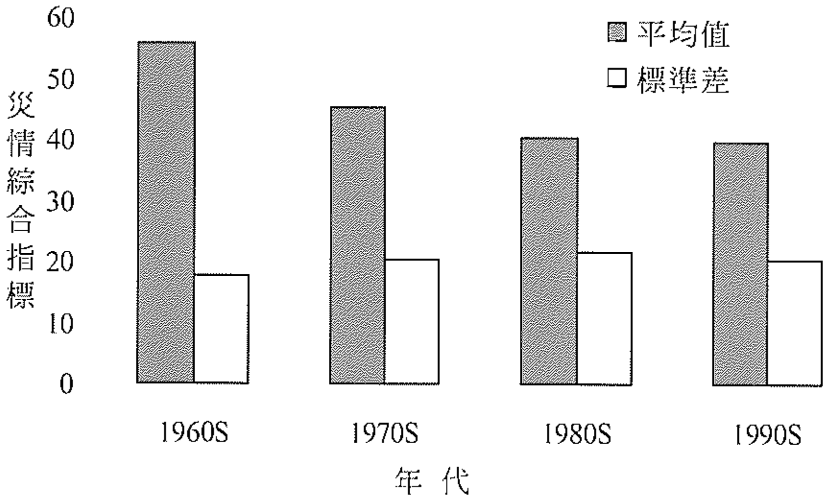


圖9. 不同年代颱風災情災害綜合指標值。

1.致災豪雨發生月份與次數之關係

圖12為致災豪雨發生的月份與該月發生的次數統計圖，由圖中可以明顯的看出在1月及12月沒有發生過致災豪雨，主要發生的月份在5月至9月，這5個月即佔了全部的82.9%，而6月份為發生致災豪雨次數最多數，佔了全部的25%，這幾個月份剛好也是臺灣地區颱風侵襲的主要時期，所以在這幾個月份對於颱風及豪雨的災害要特別的防範注意。

2.致災豪雨發生月份與其平均延時之關係

圖13為致災豪雨發生月份與該月發生時之平均延時關係圖，在一月及十二月份沒有致災豪雨發生，另外從二月至十一月致災豪雨的平均延時為3.4天，而由圖中可看出每個月份的致災豪雨天數變化不大。

3.致災豪雨發生年代與發生次數之關係

本研究將1961年至2000年之火燒寮測站之時雨量資料，依照中央氣象局之豪雨標準(即小時降雨量超過15mm而且單日降雨量超過130mm)進行篩選，並依不同年代統計其發生天數，圖14即為不同年代豪雨發生之累積天數，結果發現火燒寮站之年平均豪雨天數約為4天，而在1961-1990年間豪雨天數有增加趨勢但1991年以後又隨之豪雨天數又隨之減少，故豪雨天數與年代並無太大之關係。

4.致災豪雨發生區域與發生次數之關係

將臺灣地區分為北、中、南及東部四個區域來討論豪雨與區域之關係，北部地區包括宜蘭、臺北、桃園、新竹及苗栗；中部地區為臺中、彰化、南投及雲林；南部地區為嘉義、臺南、高雄及屏東；東部地區則為花蓮及臺東。由圖15可以看出除了東部地區，其他三個區域致災豪雨發生的次數相差無幾，而東部地區發生豪雨的機率相對就小很多。

5.致災豪雨臨界災害線

本研究整理出相同縣市發生豪雨災情時的累積雨量與延時之關係，並繪出其臨界災害雨量線。依此臨界線可界定發生災害的臨界累積雨量及延時，如圖16。

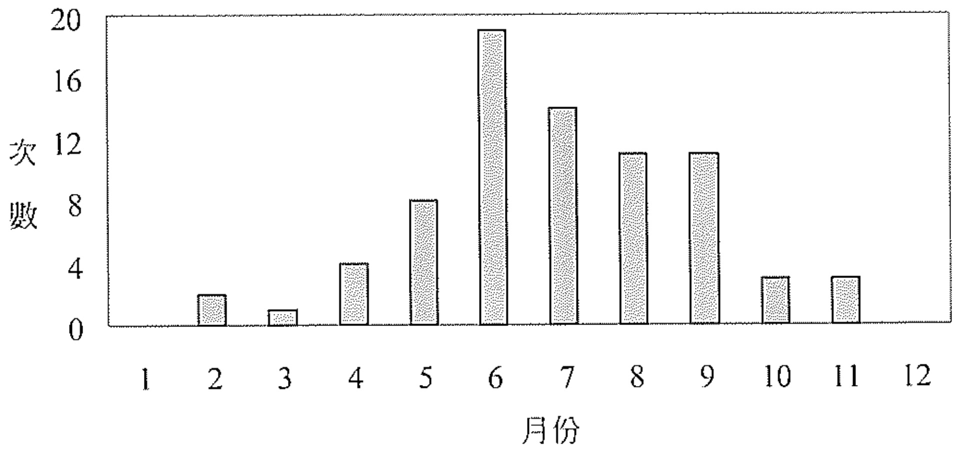


圖12. 致災豪雨發生月份與發生次數之關係。

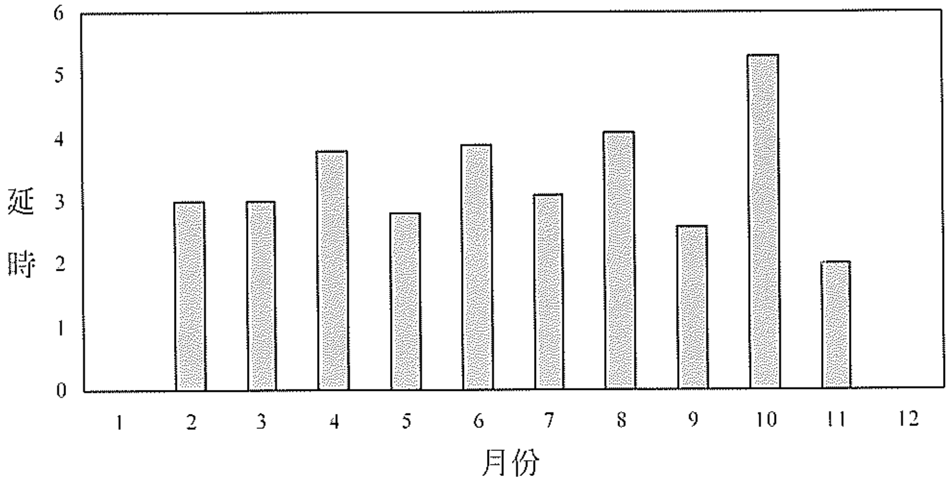


圖13. 豪雨發生月份與發生平均延時之關係。

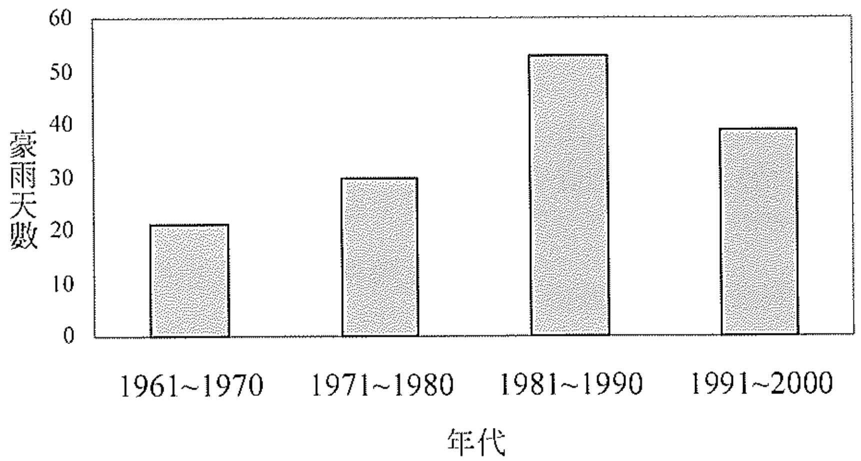


圖14. 豪雨發生年代與發生天數之關係圖。

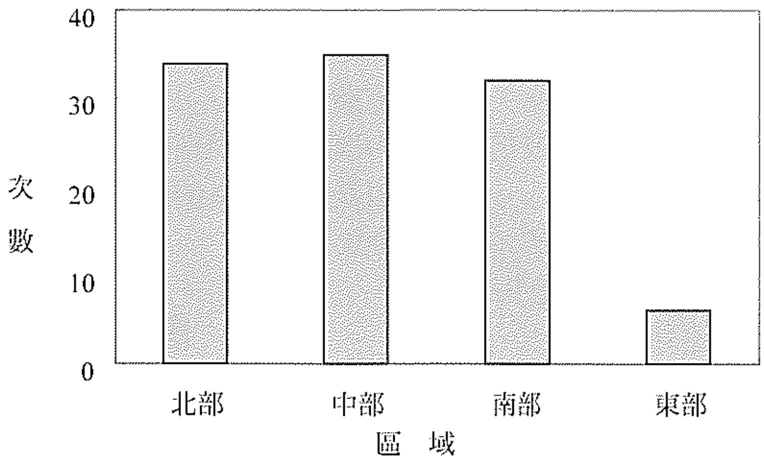


圖15. 豪雨發生區域與發生次數之關係圖。

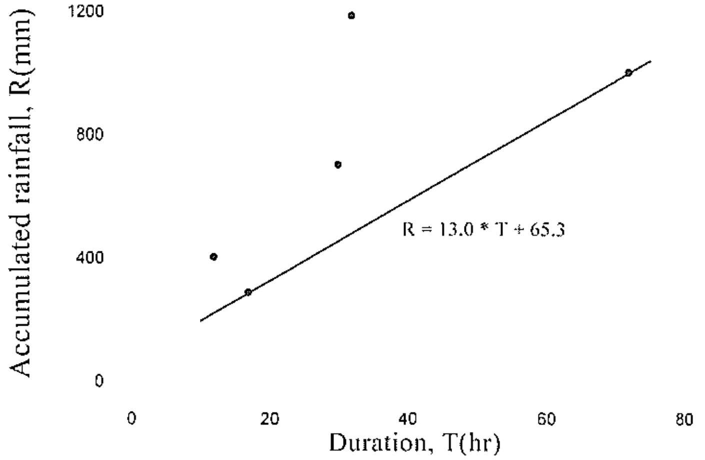


圖16. 宜蘭地區致災豪雨累積雨量與延時之關係圖。

圖16爲宜蘭地區5場致災豪雨之累積雨量(R)與降雨延時(T)關係圖，由圖中可以得到臨界災害線爲R = 13.0T＋65.3；當累積雨量或延時超過此臨界値時(於臨界線的左上方)，就有發生災害的可能。

肆、結語與建議

1. 不同颱風路徑會對臺灣各地造成不同程度的累積降雨及災情，其中第一類路徑會對臺灣中部及北部造成較嚴重之災情，北部縣市會有較大之累積雨量。第二類路徑會對臺灣中部造成較嚴重之災情，中部及南部縣市會有不小之降雨機率。第三類路徑因爲有中央山脈阻擋，會對臺灣東部造成較嚴重之災情，中部縣市則會有明顯降雨。第四、五類路徑會對臺灣東部及南部造成較嚴重之災情，東部及南部縣市會有不小之降雨機率。第六類路徑會對花蓮、臺東及屏東造成較嚴重之災情，北部、東部及南部縣市會有不小之降雨機率。第七類路徑會對臺灣南部造成較嚴重之災情，東部縣市會有不小之降雨機率。第八類路徑僅有兩場颱風，災情方面以

中、東及南部為主。第九類路徑會對臺灣中部造成較嚴重之災情，中部縣市會有不小之降雨機率。依據統計結果，颱風災害造成臺灣地區農林漁業、人員傷亡及房屋損毀每場平均損失約20億元左右。

2. 若將臺灣分成北中南東四區域來看，當颱風累積降雨量在北部地區達200mm以上，中部地區達300mm以上，南部地區達350mm以上，東部地區達300mm以上時，各地區淹水機率即高達40%。

3. 由於水利設施受颱風毀損情況僅有近5年(1996至2000年)之資料，無法詳細分析其趨勢。若以賀伯或象神的在全臺造成的水利設施的損害，由此可知高累積雨量會對水利設施造成相當程度的毀損。

4. 就農業災情分析結果推論，單場颱風累積雨量超過100mm即有可能對農業造成災情，其可能是颱風伴隨著強風等其他因子，造成農業在低累積降雨即有災情發生。

5. 秋颱為秋天從臺灣南部北上之颱風，佔秋季颱風比例約60%，因為颱風本身為逆時鐘方向旋轉，加上東北季風影響，故不論其從臺灣西岸或東岸掠過，雨量均集中於東部。西北颱為從臺灣北部經過之颱風，會造成臺灣北部及中部集中降雨。

6. 本研究蒐集自1959年至2001年所發生的74場致災豪雨，藉由以上之分析可知發生於臺灣地區導致災害的豪雨有以下幾個特點：

①發生的月份多集中在5月至9月，約佔全部致災豪雨比例84.9%。

②發生的平均延時為3.4天。

7. 近年來豪雨所帶來的災害不亞於颱風災害，其對人民生命財物之威脅亦相當的大。若能將各縣市豪雨致災的臨界雨量線定出，則有助於各縣市對豪雨災害的防治與預防，並可即時的掌握災情。而對於山坡地所佔面積較多的縣市，更需要注意因豪雨所造成的崩塌、地滑及土石流等坡地災害。

伍、誌謝

本文部分內容為經濟部水利署之研究計畫（MOEA/WRB/ST-900028），在此敬致謝忱。

陸、參考文獻

中央氣象局。1978。「臺灣八十年來之颱風」。

中央氣象局。2001。「颱風百問」。

王如意、易任。1991。「水文學」。

王如意、李如晃。1993。「颱洪逐時區域平均雨量最佳估計之研究」。農工學報39(3): 13-30。

石棟鑫。2001。「臺灣地區颱風雨降雨型態之分析研究」。國立中央大學土木工程研究所碩士論文，中壢。

余濬。1988。「降雨設計雨型之研究」。國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文，臺北。

吳宗堯、陳正改。1978。「臺灣北部地區豪雨特性之分析」。氣象預報與分析，第77期，p.15-30。

李清勝。1997。「雙中尺度渦旋交互作用之初步模擬」。大氣科學25(4): 547-568。

李清勝、陳正改。1993。「西北太平洋地區颱風路徑之研究」。行政院國科會研

究計畫，編號NSC81-0414-P002-01B。

易任、葉惠中。1991。「臺灣中部地區降雨空間分佈之研究」。臺灣水利39(4): 1-5。

洪如江。1990。「歐菲利颱風災害勘查報告」。行政院國科會防災科技研究報告78-65號，p.5-7。

莊月璇。2001。「臺灣地區風速機率分佈之研究」。國立中央大學土木工程研究所碩士論文，中壢。

陳正改。1976。「中國東南沿海地區冷鋒之移動速度及其伴隨天氣之研究」。嘉新文化基金研究論文。

陳正改。1984。「臺灣地區的天然災害」。臺灣水利，31(1):p.21-50。

陳正改。1995。「臺灣地區氣象災害之分析」。臺北師院學報8: 195-221。

陳正改。1999。「臺灣地區颱風災情的實測性評估」。中央氣象局研究告，第CW88-1A-02號。

楊志賢。1999。「臺灣地區颱風災害之潛勢分析」。國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文，臺北。

楊錦釧、葉克家、湯有光。1996。「臺灣暴雨雨型之認證」。臺電工程月刊579: 66-74。

廖偉民。2001。「土石流潛勢判定模式土石壩滲流破壞之研究」。國立中央大學土木工程研究所博士論文，中壢。

蔡清彥。1987。「傑魯得颱風災害調查報告」。行政院國科會防災科技研究報告76-21號，p.22-24。

鄭克聲。1999。「臺灣地區降雨等級分類之研究」。八十八年度防災專案計畫成果研討會報告。

鄭克聲、許恩菁。1999。「暴雨延時特性與雨型分析之研究(二)」。p.62-83，農業水資源經營技術八十八年度研究計畫成果發表討論會。

謝信良、陳正改。1985。「臺灣地區氣象災害之調查研究(一)」。國科會防災科技研究報告。

謝信良、陳正改。1986。「臺灣地區氣象災害之調查研究(二)」。國科會防災科技研究報告。

魏元、謝信良、林民生。1971。『颱風特性與臺灣雨量之研究』。氣象學報，p.1-17。

Eagleson, P.S. 1970. Dynamic Hydrology, McGraw-Hill.

Huff, F.A. 1967. Time distribution of rainfall in heavy storms. Water Resources Research 3(4): 1007-1019.

Keifer, C.J. and H.H. Chu. 1975. Synthetic storm pattern for drainage design. Journal of the Hydraulics Division, ASCE 83(4): 1-25(1957).

Pilgrim, D.H. and I. Cordery 1975. Rainfall temporal patterns for design floods. Journal of the Hydraulics Division, ASCE 101(1): 81-95.

Wenzel, H.G. 1982. Rainfall for urban stormwater design. p.35-67. Water Resources Monogragph 7, AGU, Washington.

Yen, B.C. and V.T. Chow. 1980. Design hyetographs for small drainage structures. Journal of the Hydraulics Division, ASCE 106(6): 1055-1076.

Quantitative Analysis Disasters of Typhoons (1946-2000) and Heavy Storms (1959-2000) in Taiwan

Ray-Shyan Wu, Wen-Ray Su, Wei-min Liao and Chih-Cheng Chang
Department of Civil Engineering, National Central University, Chung-Li, Taiwan (ROC)
E-mail:rswu@ncuen.ncu.edu.tw

Abstract

Taiwan, located at the subtropical zone in western Pacific Ocean, suffers the damage from 3.5 typhoons on average yearly, mainly during July to October, and several storms year-round. According to the statistics suggested by Water Conservancy Agency of Ministry of Economic Affairs, annual lost due to typhoon includes about three thousands of houses damaged and one hundred and twenty-eight thousands millions dollars of loss. This research has collected data relation to typhoons allotted among many agencies. By analyzing of cross-correlation between the data, the results show that the accumulative rainfall and scale of disaster depends on different paths of typhoon. According to statistics, each typhoon causes loses about 2 billion dollars including the loss of agriculture, fishery, human casualty, and building collapses. There is also an evidence to show when the amount of accumulative rainfall surpassed 200mm in Northern, 300mm in Midland, 350mm in Southern and 300mm in Eastern area of Taiwan, it will be increases the probability of flood to 40% in each regions. Besides, the 澗all typhoons© which appear during fall, coming from the south of Taiwan are 60% of all. Those typhoons during fall no matter coming from the east or west of Taiwan will certainly bring a great quantity of rainfall in Taiwan eastern area because of their counterclockwise rotation and the influence of northeast monsoon. Lastly, the northwest typhoon which passes through the north of Taiwan will make two obvious mass of rainfall in north and midst of Taiwan.

Key words: Typhoon, Heavy storm, Disaster, Quantitative analysis.

農業氣象及農業水資源之應用與管理
民國九十年臺灣地區氣候變化與農業氣象災害
53-68, 2002

5 民國九十年臺灣地區氣候變化與農業氣象災害

廖志翔
交通部中央氣象局第三組農業氣象科
E-mail:lics@cwb.gov.tw

摘要 -- 54

壹、前言 ------------------------------------- 54

貳、平均氣溫分析 ------------------------------- 56

參、雨量分析 --------------------------------- 56

肆、颱風分析 --------------------------------- 59

伍、農業氣象災害 ------------------------------- 59

陸、結語 ------------------------------------- 65

柒、參考文獻 --------------------------------- 66

英文摘要 ------------------------------------- 67

5 民國九十年臺灣地區氣候變化與農業氣象災害

廖志翔
交通部中央氣象局第三組農業氣象科
E-mail:lics@cwb.gov.tw

摘要

本文之目的在概述民國九十年臺灣地區之氣候情況及農業氣象災害。全年影響臺灣地區的天氣系統有鋒面、東北季風、大陸冷氣團、華南雲雨區東移、颱風(含其外圍環流)、熱帶性低氣壓、低壓帶及西南氣流等，其中有3次寒流伴隨鋒面南下影響臺灣。全年年平均氣溫偏高溫且冬季偏暖。炎熱日數除臺北及花蓮兩氣象站多於氣候平均值爲正距平外，其他地方平或略少於平均值；寒冷日數則遠少於氣候值，爲造成全年平均氣溫偏高的重要因素。全年年雨量屬偏多，雨量大部分來自於9月颱風所帶來的貢獻。豪大雨發生日數最多的月份亦集中於9月。民國九十年有26個颱風生成與氣候值相近；但其中有7個侵臺颱風，屬多侵臺颱風年，侵臺颱風中尤以納莉颱風之路徑最爲怪異且創下某些氣象站雨量紀錄。全年因氣象災害造成之農作物損失金額約爲新臺幣47億多元，以颱風危害最大，其中尤以桃芝及納莉颱風所造成的災害損失最爲嚴重。

關鍵詞：鋒面、颱風、熱帶性低氣壓、寒流、距平。

壹、前言

臺灣地處亞洲大陸東側太平洋西緣之中低緯度副熱帶地區，天氣型態隨著季節及大氣環流之轉換而變化，冬夏分別受到中低緯度不同天氣系統之控制，加上因海陸分布與中央山脈地形的影響，每年氣候的變化有時雖會有雷同之處，但經常會產生明顯的差異，變異性相當大。本文僅就民國九十年元月至十二月間臺灣地區氣候變化及農業氣象災害做一簡單的概述。本文所用之氣象資料取自中央氣象局所屬氣象站，其中之主要八個站之氣象資料爲基本資料，分爲北部、東北部、東部、中部、南部等五區，每區各以二個氣象站爲代表，以臺北、新竹兩氣象站代表北部地區，臺中、嘉義兩氣象站代表中部地區，臺南、高雄兩氣象站代表南部地區，基隆、宜蘭兩氣象站代表東北部地區，花蓮、臺東兩氣象站代表東部地區。

民國九十年影響臺灣地區的重要天氣系統可概分爲東北季風、鋒面、大陸冷氣團、華南雲雨區東移、颱風(含其外圍環流)、熱帶性低壓、低壓帶及西南氣流等，各次天氣系統發生之月份及日期如表1所

表1. 2001年台灣地區1月至12月發生之主要天氣系統。

<table>
<tr><th>日　期</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th><th>13</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th><th>17</th><th>18</th><th>19</th><th>20</th><th>21</th><th>22</th><th>23</th><th>24</th><th>25</th><th>26</th><th>27</th><th>28</th><th>29</th><th>30</th><th>31</th></tr>
<tr><td>一　月</td><td></td><td></td><td colspan="3">NE</td><td colspan="2">F</td><td>NE</td><td>F</td><td colspan="2">NE</td><td></td><td>F</td><td colspan="3">CA</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>F</td><td>NE</td><td>F</td><td colspan="5">CA</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>二　月</td><td colspan="2">CA</td><td></td><td>F</td><td></td><td></td><td>F</td><td>CA</td><td colspan="2">F</td><td></td><td></td><td>F</td><td colspan="3">CA</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>F</td><td colspan="2">CA</td><td></td><td>F</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>三　月</td><td>NE</td><td></td><td>F</td><td>CA</td><td></td><td></td><td>F</td><td>CA</td><td></td><td>RE</td><td>F</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="6">F</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4">F</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>四　月</td><td></td><td></td><td colspan="2">F</td><td></td><td colspan="2">RE</td><td></td><td></td><td colspan="2">F</td><td></td><td></td><td>F</td><td colspan="6">RE</td><td colspan="2">F</td><td></td><td colspan="3">F</td><td></td><td></td><td></td><td>F</td><td></td></tr>
<tr><td>五　月</td><td colspan="2">F</td><td>RE</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4">F</td><td colspan="3">TY</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="5">F</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4">F</td></tr>
<tr><td>六　月</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="3">F</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4">F</td><td></td><td></td><td colspan="3">LB</td><td></td><td colspan="2">TY</td><td colspan="3">SW</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>七　月</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">TY</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>TY</td><td colspan="6">SW</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">TO</td><td colspan="3">SW</td><td></td><td colspan="2">TY</td><td></td></tr>
<tr><td>八　月</td><td></td><td></td><td>TD</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="6">LB</td></tr>
<tr><td>九　月</td><td colspan="6">LB</td><td></td><td></td><td>TO</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="5">TY</td><td></td><td colspan="2">NE</td><td colspan="2">TO</td><td colspan="3">TY</td><td colspan="2">TD</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>十　月</td><td colspan="3">NE</td><td>F</td><td colspan="2">NE</td><td></td><td></td><td>F</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">TO</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>F</td><td colspan="2">NE</td><td></td></tr>
<tr><td>十一月</td><td colspan="3">F</td><td>NE</td><td>F</td><td colspan="6">NE</td><td></td><td></td><td colspan="3">CA</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">CA</td><td></td><td></td><td></td><td>F</td><td></td></tr>
<tr><td>十二月</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>F</td><td colspan="3">NE</td><td></td><td></td><td></td><td>F</td><td colspan="2">CA</td><td></td><td>F</td><td colspan="2">NE</td><td></td><td>F</td><td colspan="9">CA</td><td></td></tr>
</table>

註：表內英文簡字之意義爲－

NE：東北季風，F：鋒面，CA：大陸冷氣團，RE：華南風雨區東移，TY：颱風侵襲，TO：颱風外圍環流，

TD：熱帶性低氣壓，LB：低壓帶，SW：西南氣流，

示。整體而言，除了7月、8月、9月這三個月無鋒面影響外，全年共有38次鋒面影響臺灣天氣，其中有8次鋒面通過伴隨大陸冷氣團南下，而這些冷氣團有3次強度較強伴隨寒流爆發，使得某些平地地區最低氣溫降至攝氏10度以下，主要發生於冬季，分別在一月份1次，二月份1次及十二月1次。東北季風主要發生於秋冬季及初春，計有13次；華南雲雨區東移影響臺灣天氣主要發生於3月、4月、5月。其他天氣系統如3次西南氣流發生於6月及7月，6月、8月、9月各有一次低氣壓或低壓帶及8月、9月各有一次熱帶性低氣壓影響臺灣。全年侵臺颱風7個，計有5月、6月各一個，7月三個及9月二個。颱風外圍環流影響計4次，發生之月份在7月、9月及10月。

以下玆就2001年臺灣地區全年之氣溫、雨量、颱風及農業氣象災害情形分述於後。

貳、平均氣溫分析

2001年臺灣地區主要氣象站之月與年平均氣溫及距平(anomaly)如表2。臺灣各地區之年平均氣溫均屬偏高溫，各地均是正溫度距平，其中以臺北及基隆高於平均值0.7℃為最大，臺中0.6℃居次。以季節而言，冬季的1月、2月及12月各地區的月均溫皆為正距平，屬偏暖的冬天。整年來看僅9月及11月這兩個月氣溫下降幅度較大，大多數的地方皆為負氣溫距平，此顯示全年中僅秋季稍偏涼。而夏季的7月份平均氣溫約接近氣候值，但8月氣溫距平皆為正值且多數地方高於1℃以上，呈現異常高溫，至9月除東北部的宜蘭及東部的花蓮、臺東外，北部及中南部地區則反轉為偏低溫的情形。此外，北部的臺北及東北部的基隆兩地，1月至8月連續有8個月平均氣溫皆偏高，而宜蘭更連續9個月(1月至9月)氣溫距平皆為正值。

定義日最高溫大於等於35℃為炎熱日，日最低溫小於等於10℃為寒冷日(陳，1992)，則臺灣地區各氣象站各月的炎熱日數(表3)，臺北有41天最多，多於平均值19日，其炎熱日以6至8月這三個月發生頻度最高，其中8月份更多達17日的炎熱天。整體而言，全年的總炎熱日除臺北及花蓮為正距平外，其他地區為平平均值或少於平均值，因此本年臺灣地區夏季炎熱天氣，不是造成年平均氣溫偏高的主要因素。至於各氣象站各月的寒冷日(表4)，全年以新竹及嘉義的10天寒冷日數為最多，大多集中於12月份。本年沒有寒冷日子的氣象站主要分布於東部的花蓮、臺東及南部的高雄，各地全年寒冷日數距平皆為負值，其中以臺北及臺中少於氣候平均值15天為最多，顯示本年臺灣地區寒冷日子比氣候平均值少很多，可能是造成年平均氣溫較偏高的重要因素。

參、雨量分析

2001年臺灣地區主要氣象站之月與年累積雨量及其距平值如表5。各地之年雨量除東北部的基隆為負距平外(年雨量雖為3642.4公厘，但仍少於氣候平均值)，其他地方則為正雨量距平，尤其是嘉義年總雨量多於氣候值達1253.5公厘之多，創下該站最多年雨量紀錄。整體而言，本年算是多雨的一年。以季節及月份而言，春季(2月-4月)的雨水並不多，春雨較不明顯，尤其是2月份各地雨量距平皆為負值，呈現異

表2. 2001年台灣主要氣象站月與年平均氣溫及距平。

	一月		二月		三月		四月		五月		六月		七月		八月		九月		十月		十一月		十二月		年	
	T	DT	T	DT	T	DT	T	DT	T	DT	T	DT	T	DT	T	DT	T	DT	T	DT	T	DT	T	DT	T	DT
台 北	17.5	1.7	18.1	2.2	19.1	1.1	21.9	0.2	25.4	0.7	28.5	1.1	29.5	0.3	30.1	1.3	26.5	-0.6	24.2	-0.1	20.5	-0.4	18.4	0.8	23.3	0.7
新 竹	16.5	1.4	16.9	1.7	18.6	1.2	21.2	-0.2	25.3	0.7	27.9	0.6	29.0	0.2	29.4	0.9	26.5	-0.4	24.0	0.0	19.9	-0.6	17.8	0.8	22.8	0.5
台 中	17.7	1.5	18.7	1.9	20.9	1.5	23.0	0.0	26.6	1.0	27.8	0.3	28.4	-0.1	29.2	1.2	26.7	-0.5	25.1	0.2	20.7	-0.7	18.7	0.9	23.6	0.6
嘉 義	17.4	1.3	18.3	1.5	20.5	1.1	22.8	-0.1	26.3	0.8	28.0	0.4	28.4	0.0	28.8	1.0	26.1	-0.6	24.2	-0.1	19.8	-1.1	18.4	0.9	23.3	0.4
台 南	18.7	1.3	19.5	1.3	22.3	1.2	24.5	0.0	27.5	0.5	28.8	0.4	29.1	0.1	29.5	1.0	27.2	-0.8	26.0	0.1	21.5	-0.9	19.3	0.5	24.5	0.4
高 雄	20.2	1.4	21.0	1.3	23.3	1.0	25.6	0.4	27.5	0.3	28.3	-0.1	28.7	-0.2	29.2	0.9	27.2	-0.7	26.7	0.3	22.9	-0.5	21.0	0.8	25.1	0.4
基 隆	17.6	1.8	17.6	1.8	18.5	1.0	21.6	0.5	24.8	0.6	28.1	1.0	29.4	0.4	29.4	0.8	26.5	-0.3	24.1	0.1	20.8	0.0	18.0	0.4	23.0	0.7
宜 蘭	17.7	1.7	17.7	1.3	19.1	0.4	21.7	0.1	24.5	0.4	27.2	0.5	28.5	0.1	28.6	0.6	26.7	0.5	23.3	-0.1	19.9	-0.3	18.1	0.8	22.8	0.5
花 蓮	18.8	1.0	19.4	1.4	20.5	0.4	22.8	0.1	25.3	0.4	27.5	0.5	28.4	0.0	29.0	1.0	26.6	-0.1	24.5	-0.1	21.6	-0.3	19.5	0.4	23.7	0.4
台 東	19.8	0.6	20.6	1.0	21.6	-0.1	23.8	-0.2	26.4	0.4	28.2	0.5	28.8	0.1	29.7	1.3	27.4	0.1	25.9	0.4	22.8	-0.2	20.8	0.4	24.7	0.4

註： T: 氣溫，DT: 溫度距平(氣溫觀測值減氣候平均值)。

常少雨。梅雨期(5月-6月)北部地區的臺北與新竹雨量明顯偏少，是梅雨期該站第四少雨紀錄，但是在東部及南部地區梅雨期累積雨量則較豐沛。颱風季(7月-9月)以9月的雨量最多，臺北單月雨量達1490.8公厘(多於平均值1216.2公厘)，嘉義及基隆分別也有1322.3公厘及1310.8公厘之多，最主要爲納莉颱風所帶來豐沛雨量所致。反之，8

表3. 2001年台灣主要氣象站各月炎熱日數(日最高溫≧35℃)。

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	總計	距平
台北	0	0	0	0	1	10	13	17	0	0	0	0	41	19
新竹	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	6	-2
台中	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	-2
嘉義	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3	0
台南	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	5	0
高雄	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0
基隆	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	4	-1
宜蘭	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
花蓮	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	2
台東	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3

註：距平=實際值—氣候平均值。

表4. 2001年台灣主要氣象站各月寒冷日數(日最低溫≦10℃)。

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	總計	距平
台北	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	-15
新竹	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	10	-12
台中	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	-15
嘉義	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	10	-11
台南	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	-7
高雄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3
基隆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	-5
宜蘭	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	-8
花蓮	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2
台東	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.4

註：距平=實際值—氣候平均值。

月份各地降雨量明顯偏少，因這個月無颱風侵襲臺灣，降雨以午後雷陣雨爲主。而10月以降，各地降雨量明顯偏少，僅在12月東部的花蓮及東北部地區才有明顯增加。

表6統計各主要氣象站之大雨日數(日雨量≧50公厘)，除了基隆、臺東與氣候平均值相同外，其他站爲正距平。其中嘉義及高雄全年大雨日數比平均值多4日，而各站中全年下大雨總天數以東北部的基隆19天爲最多，宜蘭16日居次，大雨日數多數集中於9月份。

表7爲各主要氣象站豪雨日數，除臺東同氣候平均值外，其他氣象站爲正距平。其中以高雄及宜蘭多於平均值3日爲最多，而全年也以高雄及宜蘭總豪雨天數5日爲最多。全年發生豪雨月份也大多集中於9月份，2月、3月、4月、11月、12月各站皆無豪雨紀錄。

降雨日數方面(表8)，全年總降雨日最多的是基隆204天，降雨日數最少的是高雄的91日。各地雨日距平除臺北、臺中及臺南爲正値外，其他皆爲負値。其中以宜蘭少於平均值18日爲最多，另由表中也可看出本年東半部地區降雨日明顯偏少，而在梅雨期的5月與6月兩個月，臺北的降雨日數比平均值多4天，但其降雨量則偏少，主要是此期間因臺北沒有豪大雨發生。

肆、颱風分析

2001年在北太平洋西部及南海海域共有26個颱風生成，與過去30年(1971年-2000年)之氣候平均值26.6個相近。全年發生的颱風達中度颱風(12級風)以上強度的有19個，颱風生成月份主要集中於夏季(7月至9月)有16個，比氣候平均值(14.4個)多，上半年颱風生成較少僅有3個颱風形成，全年中1月至4月皆無颱風生成，8月最多有6個，7月及9月各有5個颱風生成(表9)。

中央氣象局在2001年共計發布9次颱風警報，依序爲第一號颱風西馬隆(CIMARON)、第二號颱風奇比(CHEBI)、第四號颱風尤特(UTOR)、第五號颱風潭美(TRAMI)、第七號颱風玉兔(YUTU)、第八號颱風桃芝(TORAJI)、第十六號颱風納莉(NARI)、第十九號颱風利奇馬(LEKIMA)及第廿一號颱風海燕(HAIYAN)、其中除玉兔及海燕兩個颱風對臺灣影響較小且未造成任何災情外，其餘七個颱風皆爲侵臺颱風，這七個颱風的警報發布概況詳如表10。相較過去30年侵臺數目(1971年至2000年)之平均值3.1個，2001年侵臺颱風明顯偏多。其中桃芝及納莉颱風更爲臺灣地區帶來相當嚴重災情，而以納莉颱風之路徑最爲特別與怪異，除創下在臺灣陸地停留約49小時之紀錄外，臺北市於9月17日單日降雨量達425.2公厘，創下自設站以來的日降雨量紀錄，而9月18日嘉義日雨量774.5公厘及新竹397公厘亦刷新歷史紀錄。

伍、農業氣象災害

根據農業統計年報(2001)資料，統計2001年全年農作物因氣象災害造成之總損失金額約爲新臺幣47億多元，農作物受災的月份分別爲4月4日至8日的豪雨，5月11日至13日西馬隆颱風，6月5日至6日豪雨，6月14日冰雹，6月22日至23日的奇比颱風，7月4日至5日尤特颱風，7月11日至13日潭美颱風，7月29日至30日桃芝颱風，9月15至19日納莉颱風以及9月26至28日的利

表5. 2001年台灣主要氣象站月與年雨量及距平。

	一月		二月		三月		四月		五月		六月		七月		八月		九月		十月		十一月		十二月		年	
mm	R	DR	R	DR	R	DR	R	DR	R	DR	R	DR	R	DR	R	DR	R	DR	R	DR	R	DR	R	DR	R	DR
台北	203.6	117.1	24.7	-141.0	174.1	-5.9	177.0	-6.1	127.1	-131.8	105.9	-213.5	263.3	15.4	156.8	-148.5	1490.8	1216.2	86.7	-52.1	15.9	-70.3	36.2	-42.6	2862.1	536.9
新竹	161.0	86.2	20.5	-132.0	163.2	-33.3	229.4	38.1	169.8	-112.6	46.8	-232.4	236.3	96.3	53.9	-152.9	1151.3	1036.4	29.3	-15.2	6.7	-38.1	24.9	-30.1	2293.1	510.4
台中	82.4	46.1	4.2	-83.6	38.5	-55.4	201.6	67.1	271.2	45.9	225.9	-116.8	346.6	100.8	224.6	-92.5	564.6	466.5	5.7	-10.5	2.8	-15.8	13.1	-12.6	1981.2	339.1
嘉義	74.9	47.3	1.4	-56.3	33.6	-28.6	83.6	-24.0	335.2	146.0	391.9	41.2	582.7	278.4	138.1	-284.0	1322.3	1173.4	0.2	-22.5	9.0	-3.2	6.8	-14.2	2979.7	1253.5
台南	54.1	34.2	0.3	-28.5	56.7	21.4	47.0	-37.9	515.2	339.7	530.9	160.3	270.0	-75.9	122.0	-295.4	494.8	356.4	0.0	-29.6	1.7	-13.0	13.8	2.5	2106.5	434.2
高雄	53.0	33.0	1.7	-21.9	12.5	-26.7	7.1	-65.7	727.0	549.7	350.0	-47.9	606.5	235.9	141.2	-285.1	647.0	460.4	0.0	-45.7	3.5	-9.9	7.0	-4.5	2556.5	771.6
基隆	309.0	-26.8	220.4	-178.6	227.6	-104.7	179.7	-61.2	419.8	123.7	185.8	-100.9	116.1	-34.3	69.4	-143.4	1310.8	950.0	90.0	-323.4	155.5	-239.1	358.3	26.2	3642.4	-112.5
宜蘭	399.8	244.5	104.2	-70.9	66.6	-65.6	142.9	8.7	423.1	200.4	252.4	65.7	168.7	23.2	175.6	-68.2	1212.4	771.2	259.0	-183.3	70.2	-290.0	247.0	58.6	3521.9	694.2
花蓮	98.0	26.1	30.0	-69.9	26.1	0.4	144.0	47.9	299.5	104.5	213.0	-6.6	451.0	273.7	52.0	-208.6	994.0	649.7	47.0	-320.4	16.5	-154.1	169.5	101.8	2568.5	411.5
台東	44.5	1.3	15.6	-31.9	21.6	-0.1	52.1	-21.7	267.1	110.2	460.5	212.7	240.8	-39.7	200.0	-108.2	582.4	283.0	5.7	-230.3	9.1	-68.9	38.5	-3.2	1933.1	77.0

註： R: 雨量，DR:雨量距平(實際值減氣候平均值)。

奇馬颱風。這些災害中以七月發生的桃芝颱風及9月的納莉颱風所造成的農業災情最爲嚴重，作物損失金額分別爲2,206,369仟元及1,485,876仟元。各次災情之致災成因、發生日期、損失金額、受害縣市及被害作物種類詳如表11。全年除4月、6月因豪雨及6月因冰雹等因素造成農業損失外，其他最重要的致災因素爲颱風侵襲所造成的，可見颱風對作物傷害至鉅，颱風可說是影響臺灣地區最爲嚴重的農業氣象災

表6. 2001年台灣主要氣象站之大雨日數(日雨量≧50公厘)。

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	總計	距平
台北	1	0	0	0	0	0	1	1	10	0	0	0	13	2
新竹	2	0	1	1	1	0	1	0	5	0	0	0	11	3
台中	0	0	0	1	2	0	1	3	3	0	0	0	10	2
嘉義	0	0	0	0	2	2	4	0	5	0	0	0	13	4
台南	0	0	0	0	3	3	3	0	2	0	0	0	11	2
高雄	0	0	0	0	4	2	2	1	5	0	0	0	14	4
基隆	0	0	0	0	2	0	1	0	13	2	0	1	19	0
宜蘭	2	0	0	0	2	1	1	0	7	1	0	2	16	3
花蓮	0	0	0	0	2	1	3	0	6	0	0	1	13	3
台東	0	0	0	0	0	4	1	2	2	0	0	0	9	0

註：距平=實際值—氣候平均值。

表7. 2001年台灣主要氣象站之豪雨日數(日雨量≧130公厘)。

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	總計	距平
台北	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	2
新竹	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	3	2
台中	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	1
嘉義	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	3	2
台南	0	0	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	4	2
高雄	0	0	0	0	2	0	1	0	2	0	0	0	5	3
基隆	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	1
宜蘭	1	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	5	3
花蓮	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	4	2
台東	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	0

註：距平=實際值—氣候平均值。

表8. 2001年台灣主要氣象站月與年降雨日及距平。

	一月		二月		三月		四月		五月		六月		七月		八月		九月		十月		十一月		十二月		年	
day	D	DD	D	DD	D	DD	D	DD	D	DD	D	DD	D	DD	D	DD	D	DD	D	DD	D	DD	D	DD	D	DD
台北	14	-1	9	-6	18	2	20	5	19	3	16	1	15	3	10	-4	23	10	11	-1	9	-4	10	-3	174	5
新竹	11	-1	7	-7	15	-1	18	4	15	2	9	-2	8	0	5	-6	19	10	2	-4	3	-4	7	-2	119	-11
台中	6	-1	3	-7	7	-4	15	4	19	6	18	3	16	3	11	-4	16	8	2	-1	3	-1	5	0	121	6
嘉義	5	0	1	-6	4	-3	11	3	12	1	18	4	18	3	15	-3	14	4	1	-3	3	0	2	-2	104	-2
台南	4	-1	1	-5	3	-2	9	2	11	1	15	2	18	5	15	-2	17	8	0	-4	2	-1	2	-1	97	2
高雄	4	0	2	-2	4	0	5	-1	15	6	12	-2	15	1	13	-4	17	7	0	-4	2	-1	2	-1	91	-1
基隆	20	-1	17	-3	18	-3	19	2	21	2	15	1	11	2	11	0	25	10	15	-3	15	-5	17	-3	204	-1
宜蘭	19	0	11	-8	12	-7	20	4	24	4	16	1	12	2	10	-3	22	6	16	-4	13	-8	14	-5	189	-18
花蓮	15	0	9	-7	14	-2	16	0	23	5	12	-1	11	3	6	-5	20	7	11	-3	7	-6	8	-4	152	-13
台東	5	-5	7	-4	6	-4	11	-1	18	3	14	1	12	2	5	-7	23	9	4	-7	8	-1	7	-1	120	-15

註： D: 降雨日數，DD: 雨日距平。

表9. 2001年北太平洋西部各月份颱風發生數與氣候平均值。

月份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	合計
颱風發生數	0	0	0	0	1	2	5	6	5	3	1	3	26
氣候平均值(1971-2000)	0.5	0.1	0.4	0.8	1.0	1.7	4.2	5.1	5.1	3.9	2.5	1.3	26.6
颱風侵台數	0	0	0	0	1	1	3	0	2	0	0	0	7
氣候平均值(1971-2000)	0	0	0	0	0.1	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0	0	3.1

害。而本年侵臺颱風中以納莉所造成的受害縣市爲最多，計有17個縣市受害，受害縣市中以雲林縣損失新臺幣5億多元爲最多，而桃芝颱風也造成12個縣市受害，其中臺中縣市的作物損失達5億1仟多萬元，花蓮及南投縣也有各4億多元的農作物損失。

在作物損失類別方面，全年農藝與園藝作物氣象災害之損失情形如表12。在農藝作物方面以水稻受害面積最大，園藝作物則以果樹受害面積最大。全年農藝作物損失金額爲773,489仟元，佔總損失金額的16.4%，而園藝作物爲3,939,646仟元，佔總損失的83.6%，無論是受害面積及損失金額園藝作物均超過農藝作物。

表10. 2001年中央氣象局颱風警報概況表。

月份	颱風名稱	形成地點	強度	中心最大風速(m/s)	最大暴風半徑(km)	警報發布時間	解除時間	備註
5	西馬隆(CIMARON)	呂宋島西方海面	輕度	23	150	海上：5月11日11時15分 陸上：5月11日20時35分	海上：5月13日20時5分 陸上：5月13日17時50分	經台灣東南部海面北上
6	奇比(CHEBI)	菲律賓東方海面	中度	35	200	海上：6月22日3時0分 陸上：6月22日8時10分	海上：6月24日8時20分 陸上：6月24日5時35分	經台灣海峽北上，中心通過澎湖近海
7	尤特(UTOR)	關島西南方海面	中度	38	350	海上：7月3日14時45分 陸上：7月3日20時30分	海上：7月5日23時10分 陸上：7月5日17時10分	經巴士海峽通過東沙島海面
7	潭美(TRAMI)	台灣東南方海面	輕度	20	80	海上：7月10日9時40分 陸上：7月10日20時15分	海上：7月11日21時0分 陸上：7月11日21時0分	大武附近登陸
7	桃芝(TORAJI)	呂宋島東方海面	中度	38	250	海上：7月28日5時25分 陸上：7月28日11時10分	海上：7月31日14時35分 陸上：7月31日14時35分	花蓮秀姑巒溪登陸
9	納莉(NARI)	琉球那霸西南西方海面	中度	40	150	海上：9月8日23時50分 海上：9月13日15時0分 陸上：9月15日2時45分	海上：9月10日9時0分 海上：9月19日23時5分 陸上：9月19日17時10分	宜蘭頭城附近登陸
9	利奇馬(LEKIMA)	呂宋島東北方海面	中度	35	180	海上：9月23日20時30分 陸上：9月24日14時30分	海上：9月28日9時10分 陸上：9月28日9時10分	台東與大武間登陸

表11. 2001年台灣地區農業氣象災害損失摘要。

月份	日期	災害原因	損失金額(千元)	被害作物	受害縣市
4	4-8日	豪雨	87,018	蒜、蔬菜、桃、梨、蘋果	台中縣(87,018)
5	11-13日	西馬隆颱風	69,681	水稻、玉米、西瓜、香瓜、蔥、蔬菜、胡瓜、苦瓜、茄子、香蕉、木瓜、蓮霧、其他青果	屏東縣(36,593)、高雄縣(29,848)、宜蘭縣(3,240)
6	5-6日	豪雨	21,122	水稻、玉米、西瓜、蔬菜、香蕉、檳榔、蓮霧、番荔枝	雲林縣(13,760)、南投縣(4,198)、台中縣(576)、台南市(171)
6	14日	冰雹	1,794	蔬菜、冬瓜	桃園縣(1,794)
6	22-23日	奇比颱風	261,413	水稻、玉米、高粱、落花生、蘆筍、竹筍、西瓜、香瓜、蔥、蔬菜、胡瓜、苦瓜、茄子、香蕉、棗、柚、龍眼、芒果、番石榴、木瓜、荔枝、楊桃、番荔枝、其他青果、花卉、牧草	高雄縣(98,250)、澎湖縣(60,458)、屏東縣(55,658)、台南縣市(44,824)、花蓮縣(1,957)、台東縣(1,773)
7	4-5日	尤特颱風	20,689	水稻、金針、蔬菜、香蕉、木瓜、番荔枝、椰子	台東縣(11,900)、宜蘭縣(5,391)、花蓮縣(3,398)
7	11-13日	潭美颱風	63,541	水稻、西瓜、香瓜、蔥、蔬菜、胡瓜、番石榴、木瓜	高雄縣(58,934)、南投縣(3,100)、苗栗縣(1,720)
7	29-30日	桃芝颱風	2,206,369	水稻、玉米、落花生、芝麻、茶、甘蔗、薑、其他特作、蘆筍、竹筍、金針、西瓜、香瓜、蕃茄、蔥、芋、蘿蔔、蔬菜、椰子、胡瓜、冬瓜、苦瓜、茄子、毛豆、香蕉、鳳梨、柑桔、柚、龍眼、芒果、檳榔、番石榴、李、桃、柿、木瓜、蓮霧、葡萄、枇杷、梅、橄欖、百香果、楊桃、梨、棗、番荔枝、其他青果、花卉、牧草	台中縣市(512,560)、花蓮縣(461,683)、南投縣(456,394)、雲林縣(217,552)、苗栗縣(122,546)、彰化縣(85,439)、高雄縣(78,048)、嘉義縣市(61,318)、台東縣(60,373)、宜蘭縣(3,744)、新竹縣(2,507)、屏東縣(2,248)
9	15-19日	納莉颱風	1,485,876	水稻、玉米、落花生、茶、甘蔗、薑、其他特作、蘆筍、竹筍、西瓜、香瓜、蘿蔔、蕃茄、蔥、蒜、芋、蔬菜、胡瓜、冬瓜、苦瓜、茄子、香蕉、鳳梨、柑桔、柚、芒果、檳榔、番石榴、柿、木瓜、葡萄、楊桃、梨、棗、番荔枝、其他青果	雲林縣(504,930)、台東縣(268,215)、嘉義縣市(250,772)、台南縣市(182,275)、彰化縣(105,563)、台北縣市(95,189)、新竹縣市(71,509)、高雄縣(54,681)、桃園縣(48,118)、屏東縣(47,769)、宜蘭縣(44,556)、苗栗縣(21,739)、台中縣(19,294)、南投縣(3,664)、基隆市(2,586)、花蓮縣(2,340)、澎湖縣(785)
9	26-28日	利奇馬颱風	491,632	水稻、玉米、落花生、甘蔗、其他特作、金針、西瓜、香瓜、洋蔥、蕃茄、蔥、蔬菜、胡瓜、冬瓜、苦瓜、茄子、柑桔、柚、番石榴	高雄縣(76,979)、台東縣(61,394)、屏東縣(27,836)、花蓮縣(9,054)、台南市(297)
總計			4,709,135		

註：1.受害縣市括弧內之數字為損失金額，單位千元。

2.本表資料來源：2001年農業統計年報。

表12. 2001年氣象災害對臺灣地區農藝與園藝作物所造成之損失。

作物	受害面積 (公頃)	百分比 (%)	損失金額 (仟元)	百分比 (%)
農藝作物				
水稻	18,968	24.5	403,007	8.6
玉米	4,133	5.3	95,379	2.0
高粱	1	-	19	-
落花生	3,774	4.9	45,936	1.0
紅豆	5	-	48	-
甘藷	1,024	1.3	47,066	1.0
芝麻	60	0.1	509	-
茶	373	0.5	11,065	0.2
甘蔗	1,819	2.4	92,340	2.0
其他作物	1,633	2.1	63,173	1.3
牧草	370	0.5	14,947	0.3
小計	*32,160*	*41.6*	*773,489*	*16.4*
園藝作物				
蔬菜	21,299	27.6	1,969,882	41.8
果樹	23,351	30.2	1,768,842	37.6
花卉	471	0.6	196,922	4.2
小計	*45,121*	*58.4*	*3,935,646*	*83.6*
總計	**77,281**	**100**	**4,709,135**	**100**

陸、結語

1.民國九十年影響臺灣地區的主要天氣系統，概分為鋒面、東北季風、大陸冷氣團、華南雲雨區東移、颱風(含其外圍環流)、熱帶性低氣壓、低壓帶及西南氣流等，其中鋒面影響有38次，有3次伴隨寒流南下影響臺灣天氣。

2.全年年平均氣溫偏高溫且冬季偏暖，僅在秋季時氣溫稍低，天氣稍涼。全年炎熱日數除臺北及花蓮為正距平外，其他地區為平平均值或少於平均值。而寒冷日數各地皆為負距平且比氣候平均值少很多，這可能是造成年平均氣溫偏高的重要因素。

3.本年年雨量除基隆外算是偏多的一年。全年中春雨不明顯，北部地區梅雨期雨量亦偏少，但因夏季7月及9月的颱風帶來豐沛的雨量，尤其是9月的納莉颱風，導致全年雨量偏多。而全年豪大雨日數發生最多的月份也大多集中於九月份。

4.民國九十年共有26個颱風生成，與氣候平均值相近。中央氣象局共發布9次颱風警報，其中有七個颱風侵臺，侵臺颱風明顯偏多，依序為西馬隆、奇比、尤特、潭美、桃芝、納莉及利奇馬颱風，其中以納莉颱風的路徑最為特別與怪異，除創下在

臺灣陸地停留約49小時之紀錄外，並創新臺北、嘉義及新竹三站單日雨量紀錄。

5.全年因氣象災害造成之農作物損失金額約爲新臺幣47億多元，致災因素爲豪雨、冰雹及颱風，以颱風危害最大，其中以7月的桃芝颱風造成2,206,369仟元及9月納莉颱風造成約1,485,875仟元之損失最爲嚴重。在作物種類損失方面，農藝作物以水稻受害面積最大；園藝作物以果樹受害面積最大，受害面積與損失金額園藝作物超過農藝作物。

柒、參考文獻

林秀雯。2002。民國九十年侵臺颱風概述。中華民國氣象學會會刊43：72-83。

陳圭宏。2001。民國八十九年元月至十二月間臺灣地區重要天氣概述。中華民國氣象學會會刊42：56-74。

農業統計年報。2001。行政院農業委員會編印。臺北，臺灣。

Climatic Variations and Agrometeorological Disasters Occurred inTaiwan in 2001

Chih-Hsiang Liao
Agrometeorology Branch, Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan (ROC)
E-mail:lics@cwb.gov.tw

Abstract

The purpose of this paper is to describe the climatic situations and agrometeorological disasters occurred in Taiwan in 2001. The main systems affected Taiwan's weather including front, northeasterly monsoon, continental cold air-mass, easterly moving rainbelt from southern China, typhoon, tropical depression, belt of low pressure and southwesterly flow, etc. Three cold waves associated with the front occurred this year. Annual mean air temperature was higher than the average, and resulted in a warmer winter. The numbers of hot-day in 2001, except that in Taipei and Hualien weather stations, were less than normal, but the numbers of cold-day were far less than normal. The decrease of cold days implied that it was an important factor caused high temperature in 2001. Annual rainfall was much higher than normal. Most rainfall was contributed by the typhoon in September. The days of heavy rainfall occurred mostly in September too. Twenty-six typhoons were formed on the northwestern Pacific in 2001, equal to normal. Seven typhoons attacked Taiwan, much more than normal. Among them, the path of Nari was weird and unexpected. It made a long stay, over forty-nine hours, on Taiwan and a record rainfall at some weather stations. The accumulated total loss in crop exceeded forty-seven thousand million NT dollars. The damage caused by typhoon was the most severe among all weather disasters, and the Toraji and Nari typhoons brought the most loss than other typhoons in 2001.

Key words: Front, Typhoon, Tropical depression, Cold wave, Anomaly.

農業氣象及農業水資源之應用與管理
臺灣北部之少雨特性
69-84, 2002

6 臺灣北部之少雨特性

徐森雄 、李錦育
國立屏東科技大學水土保持學系
E-mail:morio@mail.npust.edu.tw

摘要 -- 70
壹、前言 ------------------------------------ 70
貳、氣象資料及分析方法 ------------------------ 72
參、結果與討論 -------------------------------- 73
肆、結語 ------------------------------------ 83
伍、參考文獻 ---------------------------------- 83
英文摘要 ------------------------------------ 84

6 臺灣北部之少雨特性

徐森雄、李錦育
國立屏東科技大學水土保持學系
E-mail:morio@mail.npust.edu.tw

摘要

本研究擇取中央氣象局所屬基隆、台北、新竹與宜蘭等四個測站之月降雨資料，從事統計上之定量分析，設$R_{i,j}$為i年間各月份（j，1~12月）之雨量，若任意移動降雨之累計期間（k），得累計雨量為$R_{i,j,k}$，其平年值為$R_{j,k}$，而$R_{i,j}$，k對$R_{j,k}$之比為C，爾後從C值之頻率分布，探討本省北部某特定少雨雨量之頻率分布及其持續與恢復情形，對今後水資源之營運管理或某月份起可能發生乾旱之定量預測，提供更為明確有效之資訊。

關鍵詞：雨量統計，乾旱，台灣北部。

壹、前言

臺灣為一紡錘形海島，位於亞洲大陸邊緣，受季風調節影響，年平均降水量高達2500mm左右，全年間之雨量因子（平均雨量mm/平均氣溫℃）介於100~160之間，在氣候區分上劃屬濕區（humid area），為由於山脈縱貫影響，降雨之時空分佈，不論是東西兩岸或南北兩端均有顯著之不同，如圖1所示，東北部基隆、宜蘭冬半年（11~4月）之雨量較多，北部之臺北、新竹與東部之花蓮、臺東等地，雖以下半年（5~10月）雨量較多，但冬半年雨量仍佔全年之20％以上，而西南部由臺中以迄恆春等地，雨量均集中於夏半年，冬半年雨量僅佔全年之10％左右。由於西南部地區於冬半年期間內之氣溫仍高，因此在這期間之雨量因子已小於40，達旱區(arid area)之標準，而呈冬旱狀態。再者，若當年梅雨不顯或颱風未帶來足量雨水，則全省將普遍呈現旱象(徐及黃，1982, 1986)，民國90年11月至民國91年5月臺灣北部少雨，如表1所列當時臺灣北部各地之月降雨量以及其對平年值之比率，除基隆一地各月份之降雨量仍在平年之50％以上外，其餘各地之降雨量在平年之50％以下者（比率值下為粗體字）達5~6個月，以致於造成嚴重之缺水，創下翡翠水庫及石門水庫水位低限之新記錄。因此，乾旱被列為本省四大災變天氣之一(吳及王，1981)。

針對上述，作者選擇了基隆、臺北、新竹、宜蘭等四個測站之月降雨資料，嘗試以少雨之定量化分析，探討少雨雨量之出現頻率及其持續程度，期能更瞭解臺灣北部之少雨特性，供水資源營運管理上之參考。

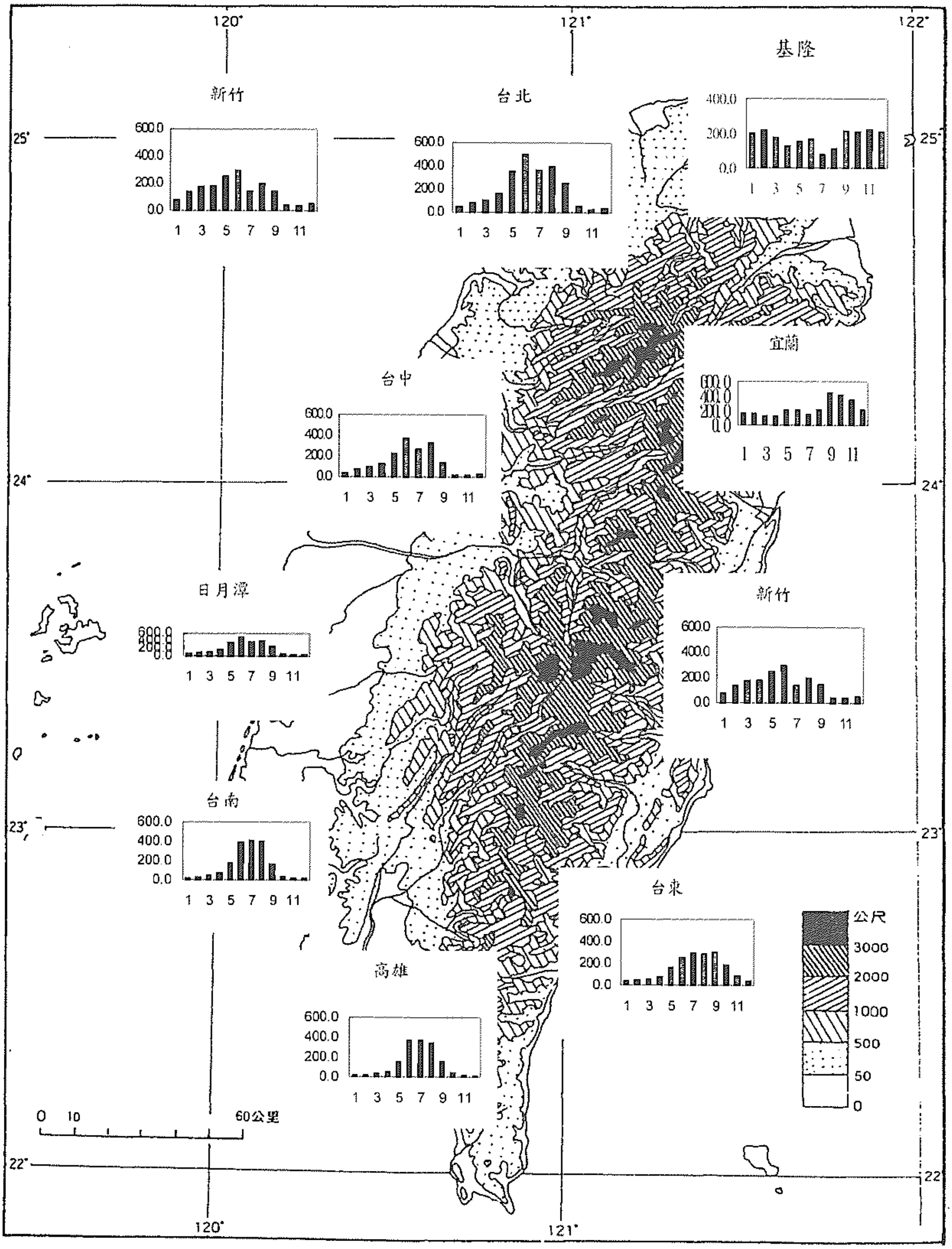


Fig. 1. Mean monthly rainfall regimes at some locations in Taiwan.

Table 1. Monthly rainfall and its ratio to normal year at north Taiwan.

Month / Rainfall ratio / Location	2001						2002					
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
Keelung	136.1	69.3	1310.8	90.0	155.5	358.3	177.1	145.5	204.5	100.5	97.9	319.5
	151%	63%	618%	439%	69%	170%	89%	67%	115%	78%	65%	192%
Taipei	263.3	156.8	1490.8	86.7	15.9	36.2	65.2	58.3	130.7	29.6	92.8	154.2
	109%	56%	560%	69%	22%	48%	72%	41%	76%	18%	42%	50%
Ilan	236.3	53.9	1151.3	29.3	6.7	24.9	30.4	48.1	121.3	28.6	91.5	207.2
	169%	27%	790%	69%	17%	48%	40%	35%	69%	16%	36%	70%
Hsinchu	168.7	175.6	1212.4	259.0	70.2	247.0	49.7	36.6	45.0	14.1	82.4	130.1
	116%	81%	273%	62%	20%	114%	31%	23%	35%	11%	39%	61%

貳、氣象資料及分析方法

一、氣象資料

所選取之四個測站，其位置及資料年數列如表2，資料之採用年數以連續之時間序列為原則，於臺灣光復初期有些測站曾中斷一年因此各以該月份之總平均值補列以便統計。

二、分析方法

設$R_{i,j}$為i年間各月份（j，1～12月）之雨量，如圖2所示，若任意移動降雨之累計期間(k)，得累計雨量為$R_{i,j,k}$，其平年值為$R_{j,k}$，而$R_{i,j,k}$對$R_{j,k}$之比為C，爾後從C值之頻率分佈，探討特定C值之出現趨勢(林與坂上、元田，1980)。

Table 2. Geographical position of meteorological observatories and its rainfall records.

Location	Geographical position		Height above the sea level (m)	Sampling period	Years
	Latitude (N)	Longitude (E)			
Keelung	25°08'	121°44'	26.7	1946~2001	56
Taipei	25°02'	121°30'	5.3	1896~2001	106
Hsinchu	24°50'	121°00'	34.0	1938~2001	64
Ilan	24°46'	124°45'	7.2	1935~2001	67

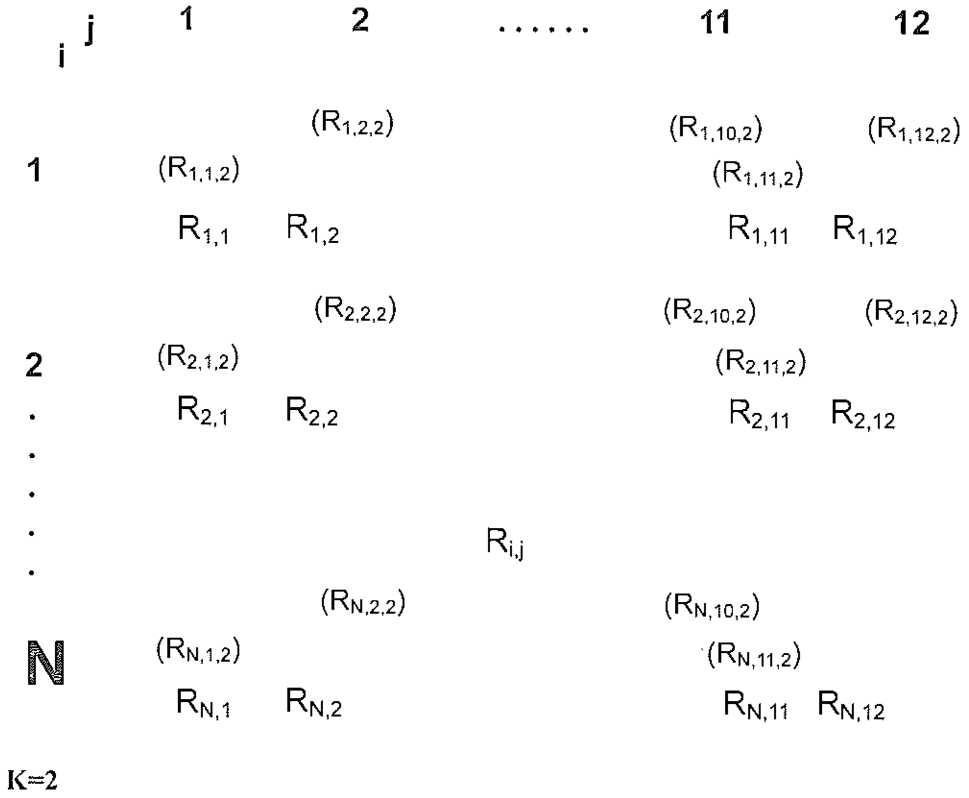


Fig.2. Calculated model for the accumulated rainfall.

參、結果與討論

臺灣北部個各測站各月份之雨量於累計1個月後，C值之頻率分佈情形如圖3至圖6，圖中C=1.0處加線段標示，此即平年值之位置。吾人常以平年值論一地雨量之多寡，惟從圖3至圖6可看出，各地區各單月份雨量之出現頻率甚少以C=1.0處爲中心，而呈左右對稱分佈形態，尤以少雨出現頻率較高月份，更呈偏左分佈，因此當以平年值論該地雨量之多寡時，顯均高估，然隨著累計期間之增長，其極端少雨（或多雨）之現象逐漸消失，C值之頻率分佈亦趨向常態。

一地區少雨之發生情形可從C＜1.0之頻率變化上看出，如將某期間累計降雨量小於或等於其平年值之20％，即C值≦0.2者視爲極端少雨時，其出現頻率基隆地區（見圖3）於7月份高達18％；而臺北地區（見圖4）僅於10月份達10％；新竹地區（見圖5）於2、7、10、11、12等月份超出10％；宜蘭地區(見圖6)僅於7月份均超出10％。

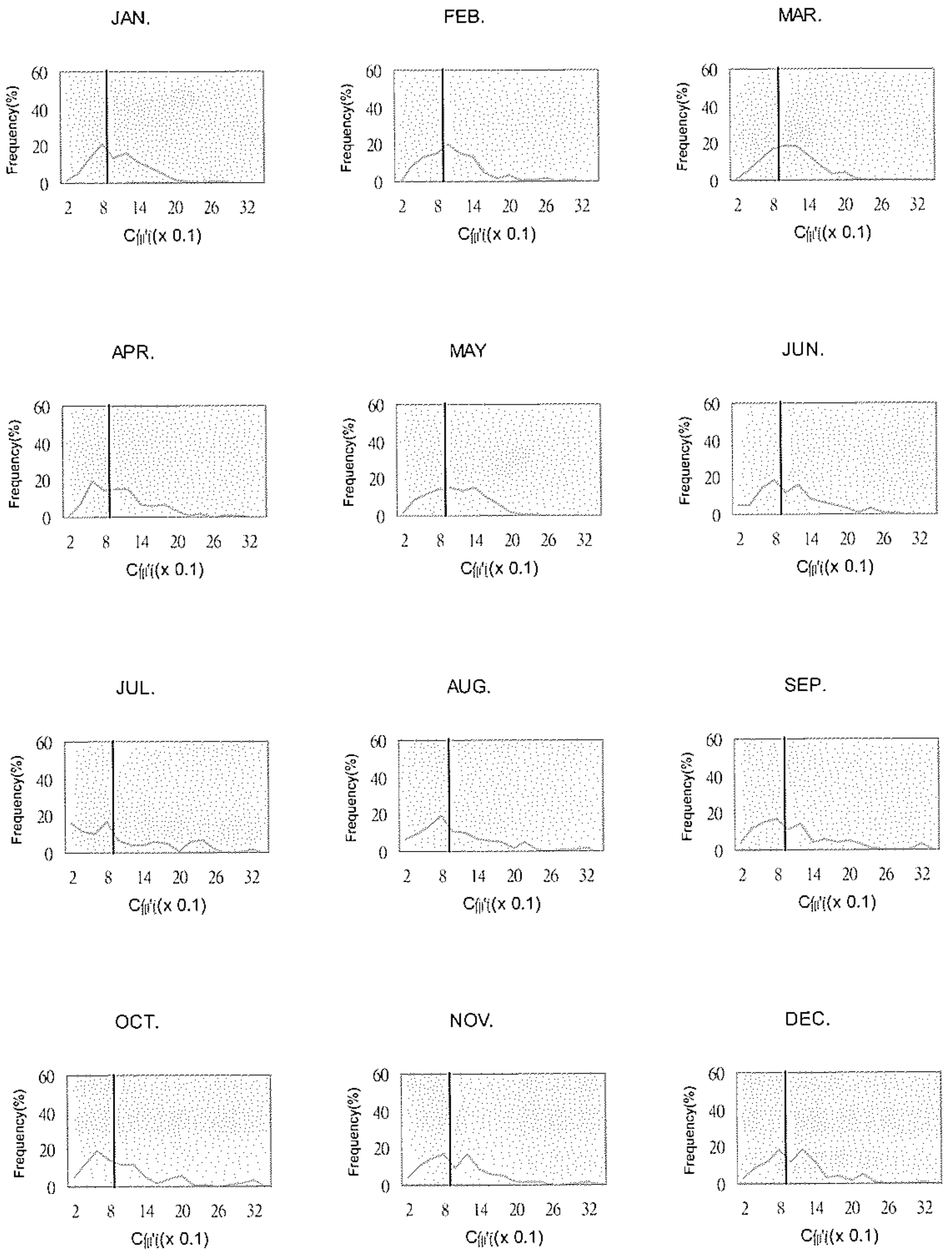


Fig. 3. Frequency distribution of C-value in the rainfall accumulated period (K=1) at Keelung.

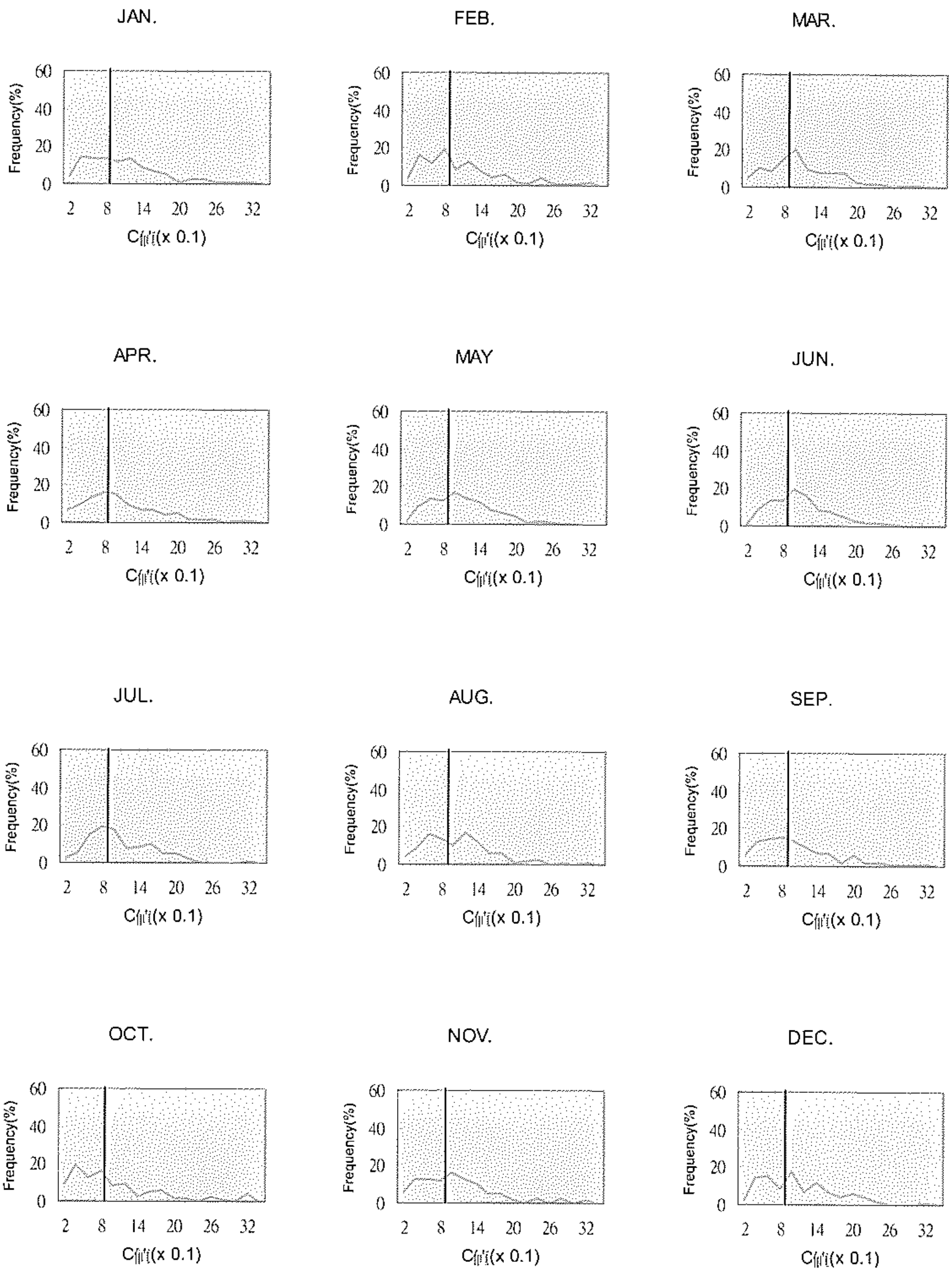


Fig. 4. Frequency distribution of C-value in the rainfall accumulated period (K=1) at Taipei.

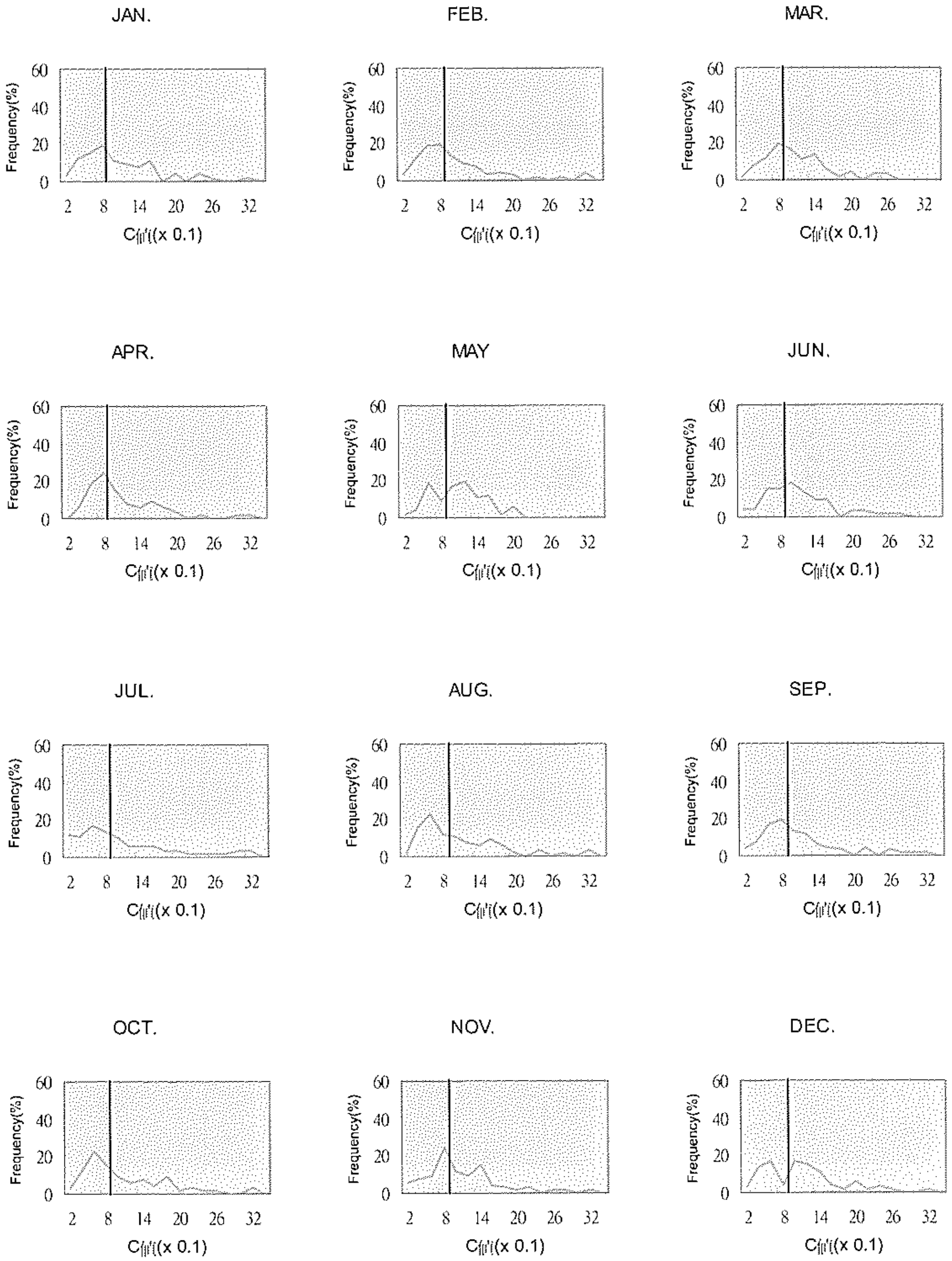


Fig. 5. Frequency distribution of C-value in the rainfall accumulated period (K=1) at Hsinchu.

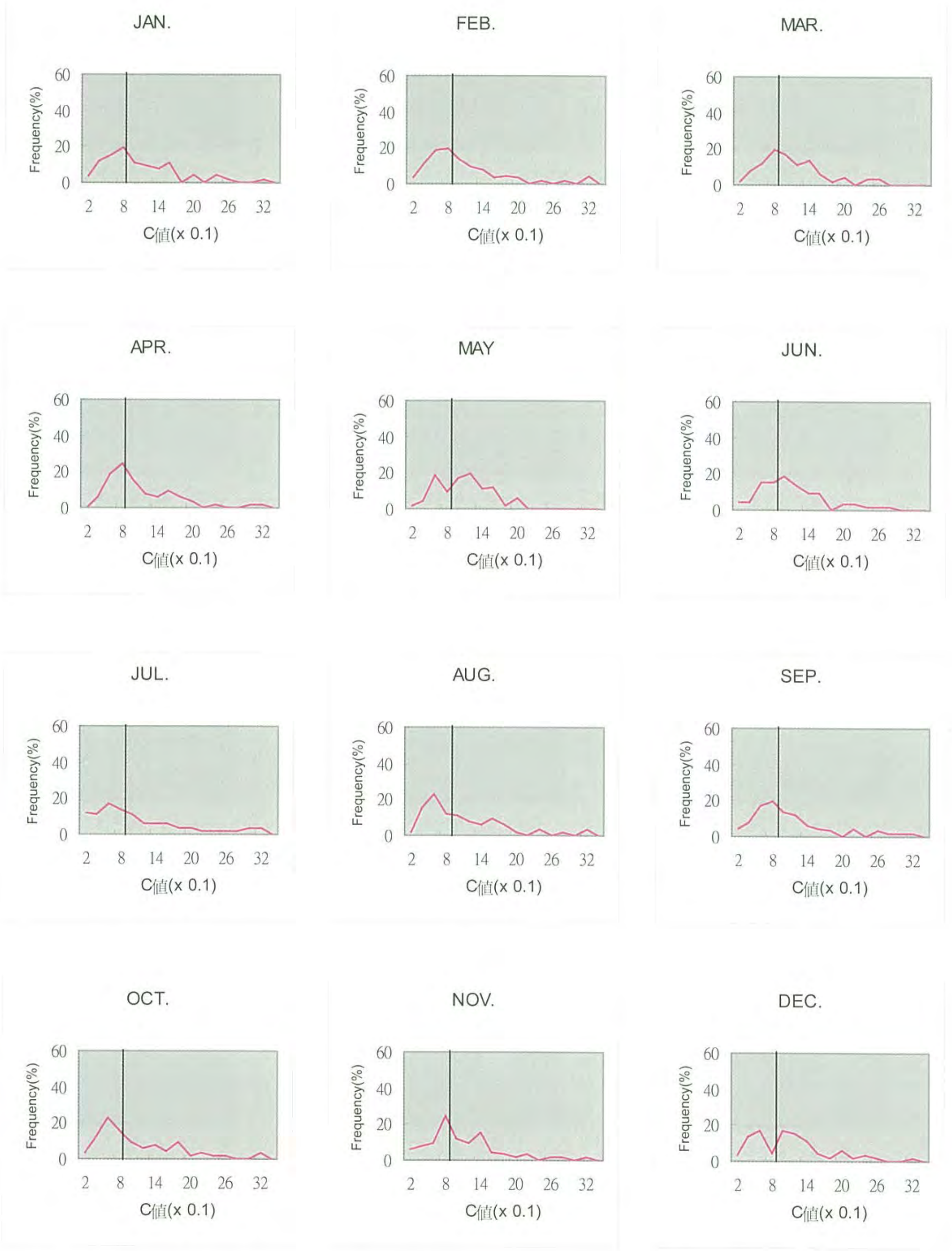


Fig. 6. Frequency distribution of C-value in the rainfall accmulated period (K=1) at Ilan.

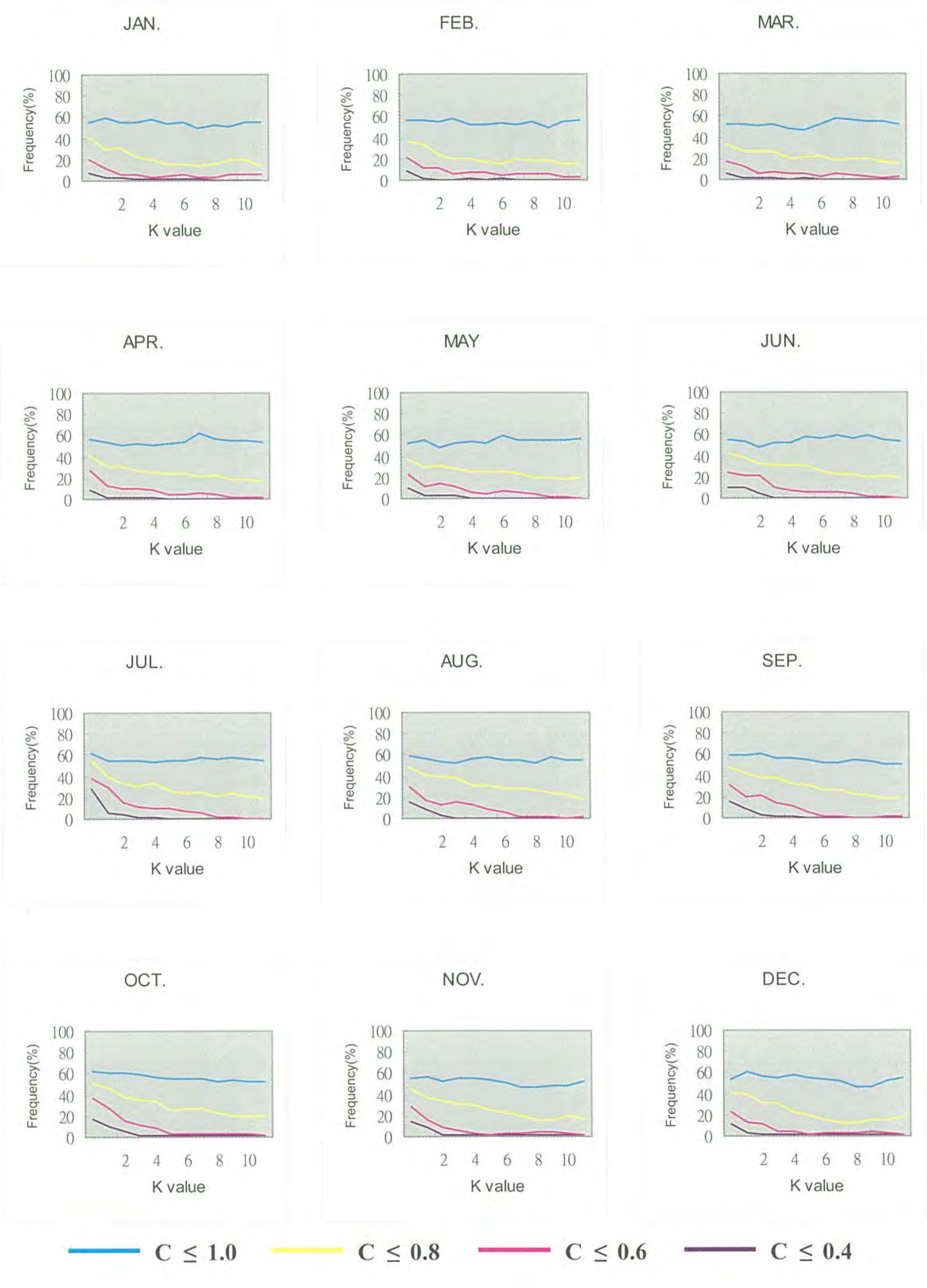


Fig. 7. Monthly low rainfall occurrence curves in different C-value at Keelung.

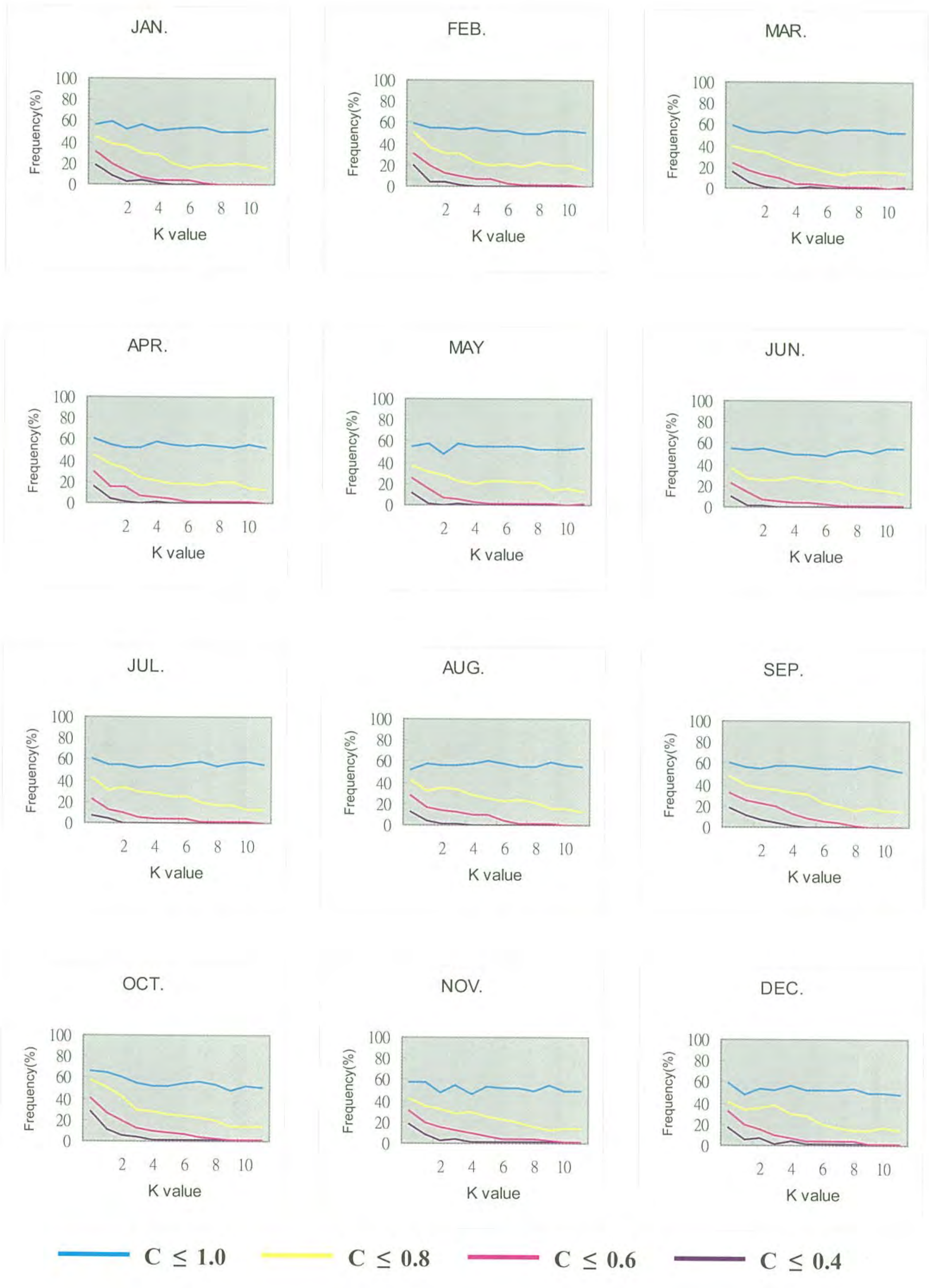


Fig. 8. Monthly low rainfall occurrence curves in different C-value at Taipei.

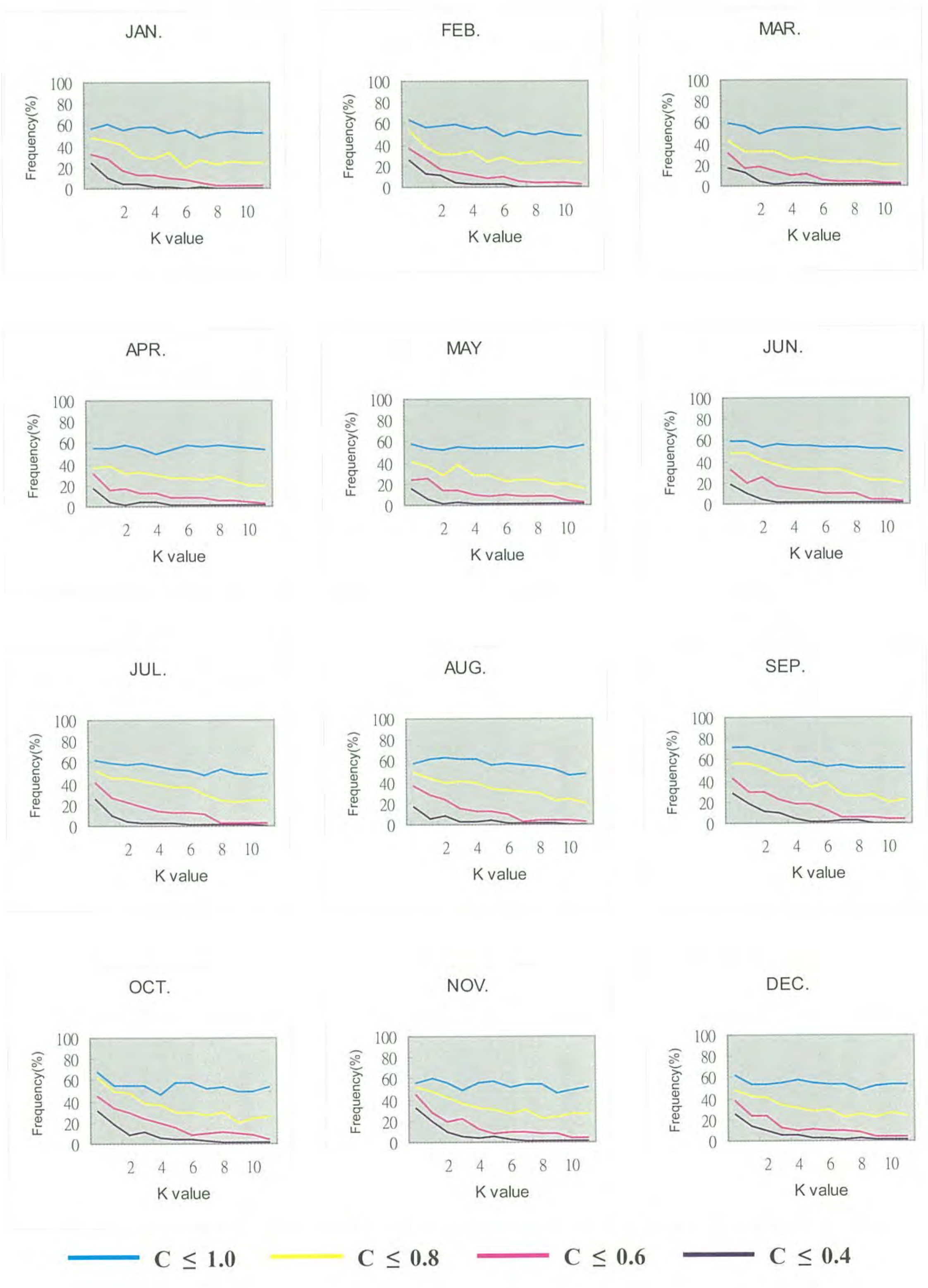


Fig. 9. Monthly low rainfall occurrence curves in different C-value at Hsinchu.

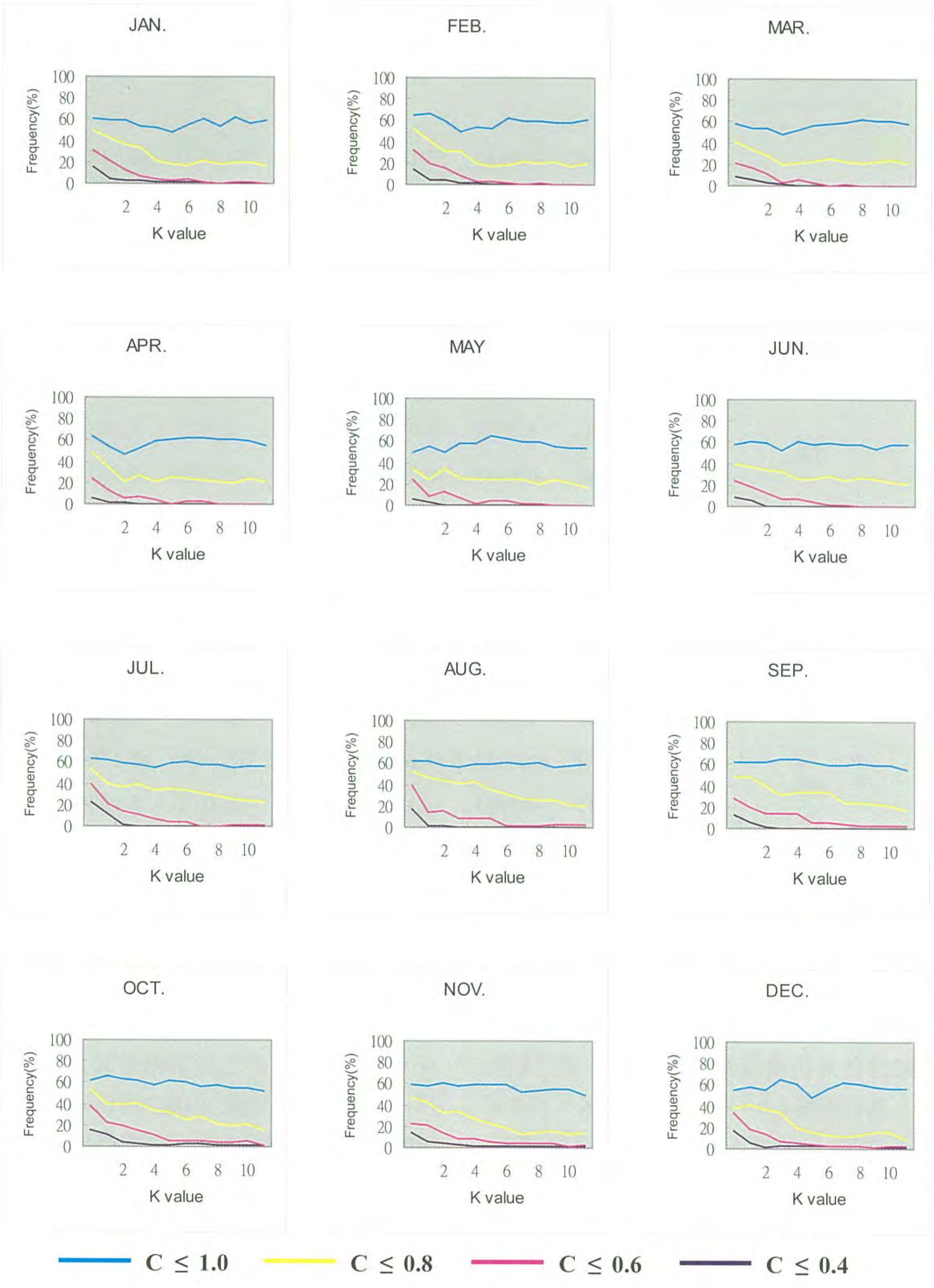


Fig. 10. Monthly low rainfall occurrence curves in different C-value at Ilan.

Table 3. Monthly coefficients of different low rainfall occurrence curve at Taipei.

C-Value	Coefficient	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
0.4	a	56.9298	56.9441	55.1610	56.0990	54.9541	52.7138
	b	-0.0119	-0.0116	-0.0042	-0.0052	-0.0036	-0.0011
0.6	a	43.3953	41.4830	39.8432	40.7353	36.2328	35.5837
	b	-0.0930	-0.0827	-0.0993	-0.0985	-0.0803	-0.0708
0.8	a	43.3384	19.1753	16.0597	16.6783	10.2170	21.3347
	b	-0.3896	-0.1807	-0.1560	-0.1875	-0.1666	-0.2858
1.0	a	24.9342	6.3981	4.9878	4.8378	2.3075	1.7388
	b	-0.5344	-0.0935	-0.2660	-0.1967	-0.7520	-0.5375

C-Value	Coefficient	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
0.4	a	55.0341	56.0636	58.7841	63.7629	55.1365	55.0914
	b	0.0007	0.0013	-0.0079	-0.0226	-0.0087	-0.0089
0.6	a	44.8254	46.4253	51.6834	59.6979	45.6609	47.2765
	b	-0.1032	-0.1001	-0.1086	-0.1293	-0.1075	-0.1087
0.8	a	12.5556	21.5401	30.1095	54.1063	41.1477	40.6825
	b	-0.1471	-0.1648	-0.1574	-0.3213	-0.2985	-0.3241
1.0	a	1.6144	3.1756	10.3236	12.8285	9.8075	9.4762
	b	0.9905	0.2228	-0.0593	-0.2810	-0.2432	-0.2418

如以各月份雨量爲基準點，於累計k個月後，其C值≦1.0，≦0.8，≦0.6，≦0.4之出現情形，亦即不同C値之少雨持續程度，示如圖7至圖10。就C≦0.4之少雨發生情形而言，基隆地區(見圖7)僅於7月份頻率超過20％，但爲未持續超過2個月；臺北地區(見圖8)僅10月份其頻率超出20％，且在各月份之持續程度均小，約1~3個月；新竹地區(見圖9)於7~2月份，其頻率超出20％，於10~12月份之持續程度較大，達10個月；宜蘭地區(見圖10)僅7月份，其頻率超出20％，其持續程度約1~2個月。

於上述圖7至圖10中，如以持續期間(duration)之月數爲k，發生頻率之程度(depth)爲P，則少雨發生之DD關係曲線，可以下式表示，其模式圖則示如圖11。

$$P=ae^{bk} \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

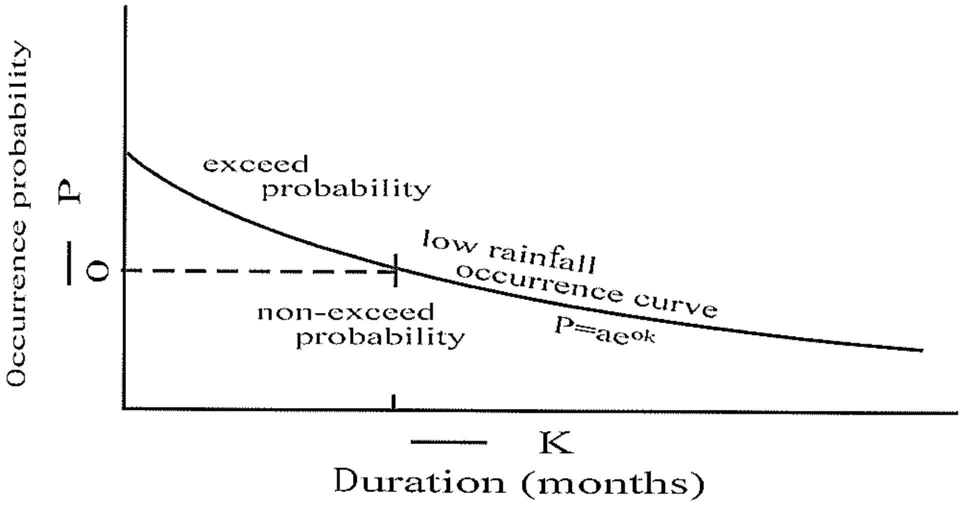


Fig.11. Model of low rainfall occurrence curve.

以臺北地區爲例，所計算出各月份C≦1.0，C≦0.8，≦0.6，≦0.4各少雨之曲線之a，b係數，列如表3，各曲線之相關係數均達1％顯著水準。因此，於設定某一C値之後，可依其少雨發生曲線，而求得某一少雨發生頻率之可能持續月數，或某一少雨情況於持續k個月後，其可能發生之頻率爲若干。

肆、結 語

從以上之分析，對本省各地區少雨之發生頻率及其持續程度，在量化上獲得更進一步之瞭解。就極端少雨(雨量爲平年値之20％以下)之發生頻率而言，基隆及宜蘭地區於7月份，臺北地區於10月份，新竹地區於2、7、10~12月份均超出10％。雨量爲平年値40％以下之發生頻率，基隆及宜蘭地區於7月份超出20％，臺北地區於10月份超出20％，而新竹地區於7~2月份超出20％，且持續程度亦較久。由此充分顯示臺灣北部地區之中基隆及宜蘭爲夏季少雨，而臺北及新竹爲冬季少雨之特性，而其少雨發生之頻率或其持續程度，亦可從少雨發生曲線上加以預測，對今後各地區水資源之營運管理或防災對策上將可提供更明確之資訊。

伍、參考文獻

吳宗堯、王時鼎。1981。民國69年臺灣乾旱研討。大氣科學8：895-104。

林靜夫、坂上務、元田雄四郎。1980。少雨之統計分析(1)。九州農業氣象17：29~32。

徐森雄、黃國禎。1982。屏東之乾旱特性。屏東農專水土保持學報6：1-8。

徐森雄、黃國禎。1986。臺灣之少雨特性。中華水土保持學報17(2)：70~83。

The Characteristics of Low Rainfall in North Taiwan

Sen-Hsiung Hsu and Chin-Yu Lee
Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan (ROC)
E-mail:morio@mail.npust.edu.tw

Abstract

This study deals with the characteristics of low rainfall in north Taiwan based on the monthly rainfall data from Keelung, Taipei, Hsinchu and Ilan. Let Ri,j represents the amount of rainfall on month j (Jan. to Dec.) of year i, Ri,j,k, represents the amount of accumulated rainfall from month j through time period K and Rj,k is the average of normal year, through which the ratio (C) of Ri,j,k to Rj,k can be obtained. From the analysis of frequency distribution of C-value, an understanding of the quantitative expression for low rainfall occurrence and its persistence at certain locations in north Taiwan can be obtained. Based on the results, we can offer more precise information for water resource operation and management, and predict low rainfall quantitatively.

Key words: Rainfall statistics, Drought, North Taiwan.

農業氣象及農業水資源之應用與管理
田間蒸發散量之估測與應用
85-96, 2002

7 田間蒸發散量之估測與應用

申雍
國立中興大學土壤環境科學系
E-mail:yshen@nchu.edu.tw

摘要 -- 86
壹、前言 -- 86
貳、田間蒸發散量測定與估算方法 -------------------- 87
參、區域蒸發散量之估算與應用 -------------------- 91
肆、結語 -- 93
伍、參考文獻 -- 93
英文摘要 -- 96

7 田間蒸發散量之估測與應用

申雍
國立中興大學土壤環境科學系
E-mail:yshen@nchu.edu.tw

摘要

田間蒸發散量的多寡不僅直接影響土壤中的有效水分含量及作物產量，也是擬定灌溉計畫和進行水資源規劃時的重要參考資料。本文首先說明測定地表蒸發散量的技術，介紹利用氣象資料推估地表蒸發散量的方法，然後論及估計區域蒸發散量的注意事項，以及農業上可能的應用方向。使用滲漏計法和微氣象法可以測得田間蒸發散量短期間內的動態變化，是計算作物係數和評估作物水分利用效率的重要基礎資料。氣象資料只適合推估長期的盆面蒸發散量，若要推估大區域盆面蒸發散量的分佈，還必須考量所使用氣象測站資料的適用範圍與測站密度。就台灣西南部地區而言，利用氣溫和日射資料可以合理推估月累積盆面蒸發散量之空間分佈。

關鍵詞：水資源、灌溉、氣象、氣候、作物水分利用。

壹、前言

水不僅是光合作用的原料，也是土壤中養分被動吸收和作物體內各種成分移運時的介質，而葉片的蒸散作用更是降低葉溫的重要機制。由於作物全生育期中必須由土壤吸收大量的水分，所以作物生長之良窳以及產量之高低與土壤中有效水分含量密切相關(Krogman and Hobbs, 1976; Retta and Hanks, 1980; Tanner, 1981)。土壤中有效水分之散失，主要經由土表之蒸發和葉片的蒸散，因此不僅田間的灌溉作業必須考量蒸發散量的實際損失；所有牽涉水資源管理與運用之規劃，也都將地表之蒸發散量列為重要的考量因子之一。

台灣地區每年可用的水資源(水庫、河川、地下水)約有192億立方公尺，農業灌溉用水使用約120億立方公尺，其中又以水稻灌溉用水為主(黃，1992)，當民生與工業用水逐年增加之際，農業是否真需要如此鉅量的灌溉用水，已成為其他用水標的事業的質疑之一。由於灌溉用水除需補充田間蒸發散損失外，還包含有整地用水、田間滲漏、以及輸水損失等與作物生長無直接相關的用水量，因此若能準確估算田間的蒸發散量，將可評估目前農業用水是否合理，也可作為研發或更新灌溉管理技術的基礎。

地表之蒸發散量受微氣象、植被、土

壤等多項因子的綜合影響，具有明顯之時間與空間變異特性，因此需依據設定之研究目標與預期之應用範圍，選擇適合的測定或估算方法，才能明瞭田間蒸發散量之動態變化，並估算在特定時段與空間範圍內的總蒸發散損失，以供進一步之應用。本文首先將討論目前常用之田間蒸發散量的估測方法，再舉例說明蒸發散量估測在農業上的應用。

貳、田間蒸發散量測定與估算方法

田間蒸發散量可以實際進行測定，也可以由氣象資料予以估算，兩種方式各有其適用的範圍。於田間進行蒸發散量之測定，可以明確得知田間特定範圍內實際蒸發散量的動態變化，但受限於時間、經費、人力、場所、…多項因素之限制，通常僅適合用於特定小區域進行之研究工作。利用氣象測站觀測紀錄進行估算，雖然資料獲取較容易，適用的範圍也略廣，但通常僅能估算長時期的平均盆面或潛在蒸發散量，不適合作為瞭解短期間的動態變化使用；要轉換成田間實際蒸發散量，還必須考量作物種類、生育階段、土壤性狀、…等植物與土壤特性的影響。

1.田間測定方法

田間測定實際蒸發散量的技術可分為下列幾大類，(1)蒸發皿法，(2)滲漏計法，(3)土壤水分收支法，和(4)微氣象法。蒸發皿法主要測定所模擬之自由水面的蒸發量，雖未考量田間蒸發散過程中因土壤和植物所加諸之各種限制，但卻能代表田間多種微氣象因子的綜合影響結果。由於綠洲效應(oasis effect)之故(Tanner，1957)，盆面蒸發量常高於大面積自由水面(如湖面)的蒸發量，可利用晞皿係數(pan coefficient)加以修正(Doorenbas and Pruitt, 1975；Brutsaer, 1984)。一般則將盆面蒸發量直接乘以適當的作物係數(crop coefficient)，以換算得知田間的實際蒸發散量(施等，1988)。蒸發皿的大小和皿中水深會影響蒸發量的測值，中央氣象局以直徑120cm，深25cm的A型蒸發皿為標準測定儀器，需維持水深在18~20cm間，通常每天定時測定水深一次，再換算為每天之盆面蒸發量(中央氣象局，1986)。臺灣早期使用之日式直徑20cm，深10cm的20cm蒸發皿，因皿內水溫較高，所測得之蒸散量較A型蒸發皿約高30%，且受局地微氣象環境影響(圖1)。

滲漏計法係以人為方式將一土體獨立出來，再以稱重的方式計算出土體經由蒸發散所減少的水量，因此可以直接測定地表的蒸發散量，也常被作為比較其他測定方法準確性的基準（Rosenberg *et al.*, 1983；Brutsaert, 1984）。地表蒸發散減少的重量通常遠小於整個獨立土體的重量，由於稱量儀器性能之限制，大部份滲漏計的精確度僅適合測定每天的蒸發散量。基本上，種植於滲漏計內外之作物的生育狀況不應產生差異，才能正確測得田間作物的實際蒸發散量，但此基本要求卻不易被正確施行，常見的因素包括土壤回填時改變了剖面層次和密度、土壤水分剖面與實際狀況不同、以及根系生長受限制等(Pelton, 1961)。若採用盆栽或令滲漏計突出地面，其測值將會因曬衣繩效應(clothesline effect)而顯著高於田間真正的蒸

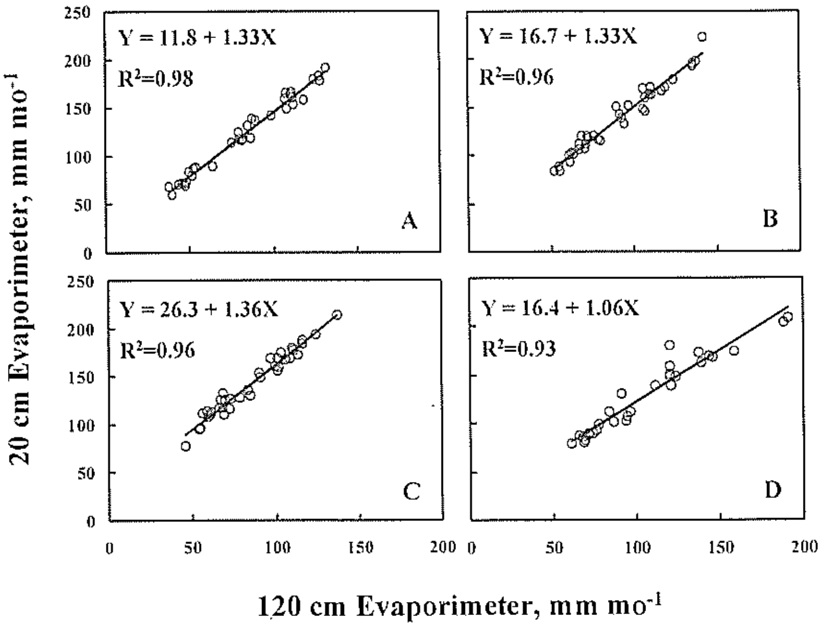


圖1. 氣象測站盆面蒸發量受蒸發皿直徑之影響(A)台南站467411(B)嘉義站467480(C)台中站467490(D)梧棲站467770。

發散量(Tanner, 1957；van Bavel *et al.*, 1962)。

土壤水分收支法主要依據物質不滅定律，以下式計算蒸發散量(ET)，

$$ET = PI \pm RO - D + \Delta SW$$

其中PI代表降雨/灌溉，RO代表逕流，D代表滲漏/毛管水補充，ΔSW代表土層中蓄積水分的變化。本式可計算從大集水區至小坵塊等不同尺度下的蒸發散量，其準確度則決定於各參數量測的準確性。就小坵塊田區而言，土壤滲漏損失/毛管水補充(D)和土層中蓄積水分的變化(ΔSW)兩項是其中最難準確估算的參數(Jackson *et al.*, 1973；Wight, 1971；Wilcox and Sly, 1974)；就大集水區而言，雨量之空間分佈也很難準確估算。一般而言，土壤水分收支法並不適合用於測定短期(如每天)的蒸發散量，多用於長期蒸發散量之估算，且其中土壤滲漏損失/毛管水補充(D)和土層中蓄積水分的變化(ΔSW)兩項常被假設變動很小而忽略不計。水田浸水時期可以利用簡易滲漏筒中水深的變化計算每日的蒸發散量，但應用此法時，需避免打入田中的滲漏筒在犁底層以及筒壁間產生裂隙，因而改變了滲漏速率。

微氣象法可以測得田間實際蒸發散量的動態變化，目前以波溫比值法(Bowen ratio)和渦流相關法(eddy correlation)兩種方法較爲常用(Kanemasu, 1979; Rosenberg *et al.*, 1983；Brutsaert, 1984；Verma, 1990)。波溫比值法所使用的儀器設備較簡單且便宜，但必須注意滿足該法有關熱源和水氣源均勻分佈的假設，因此測定儀器不能距土表(或植被表面)太近；且因溫度和水氣壓的梯度值很小，所以各感應器的校驗必須非常確實。使用渦流相關法法時必須滿足的限制較波溫比值法爲少，但必須使用能快速反應的昂貴感測儀器，才能測得由渦

流引起的垂直變動。使用微氣象法進行測定時，儀器必須架設於已完全依地表狀況調整之邊界層中(Oke, 1978; Verma, 1990)，因此試驗區需有足夠的吹風緩衝距離(fetch)。若以儀器高度:吹風緩衝距離=1:50的低標準計算，當感測器架設於試區中央的植被上方1m處，最好能有100m×100m的試區面積。若試區面積不夠大，則可將測定儀器向下風處移動，或選購取樣頻率高(n Hz)的感測器，以降低感測器架設的高度(Zmin ≒ 2U/n)。楊等(1986)利用空氣動力法和波溫比值法，以及姚等(2002)利用渦流相關法測定水稻田中蒸發潛熱和可感熱通量的動態變化，是臺灣地區少數以微氣象方法進行田間蒸發散量測定的實例，未來若能改進測定儀器的穩定性，並於不同地區選擇有足夠吹風緩衝距離的試區，應可獲得較精確的田間蒸發散量數據，提供作爲計算作物係數，以及驗證氣象資料估算模式的基礎資料。

2.氣象資料估算方法

利用氣象觀測資料估算地表潛在蒸發散量的方法可分爲下列幾大類（Rosenberg *et al.*, 1983），(1)以氣溫爲基礎之方程式：如Thornthwait法、Blaney－Criddle 法、Hargreaves 法、Linacre 法；(2)以日射及氣溫爲基礎之方程式：如 Makkink法、Jensen-Haise 法、Solar Thermal Unit法；(3)應用多種氣象因子之混合法：如 Penman法、Monteith－Penman法、Van Bavel法、Slatyer－McIlroy法、Priestley－Taylor法。液態水經由蒸發或蒸散作用轉成氣態水需要吸收大量的熱能，由於日射是地表能量的主要來源；氣溫不僅反應了入射日射能量的多寡，還決定地表空氣中的飽和水蒸氣壓；日照時間也間接代表入射之日射能量和氣溫，因此日射(圖2)、氣溫(圖

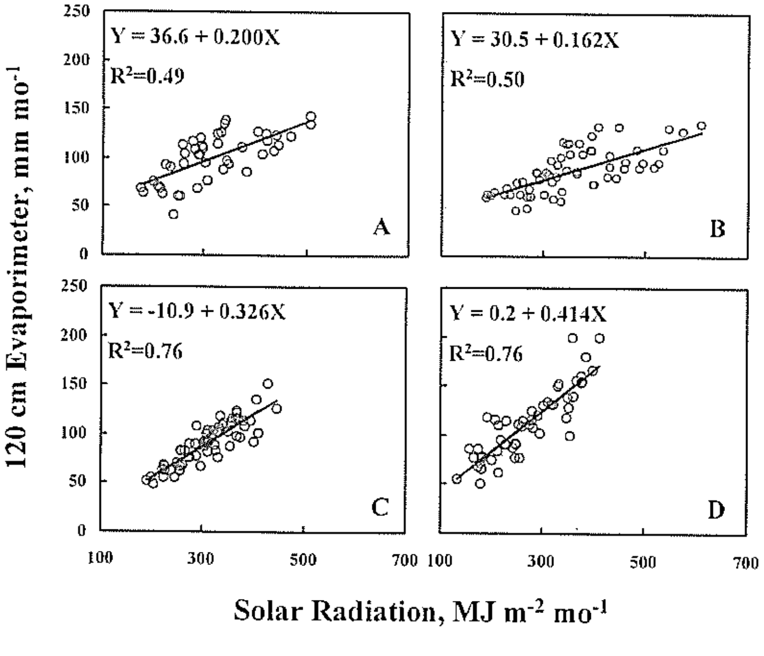


圖2. 氣象測站盆面蒸發量與日射量之關係(A)台南站467411(B)嘉義站467480(C)台中站467490(D)梧棲站467770。

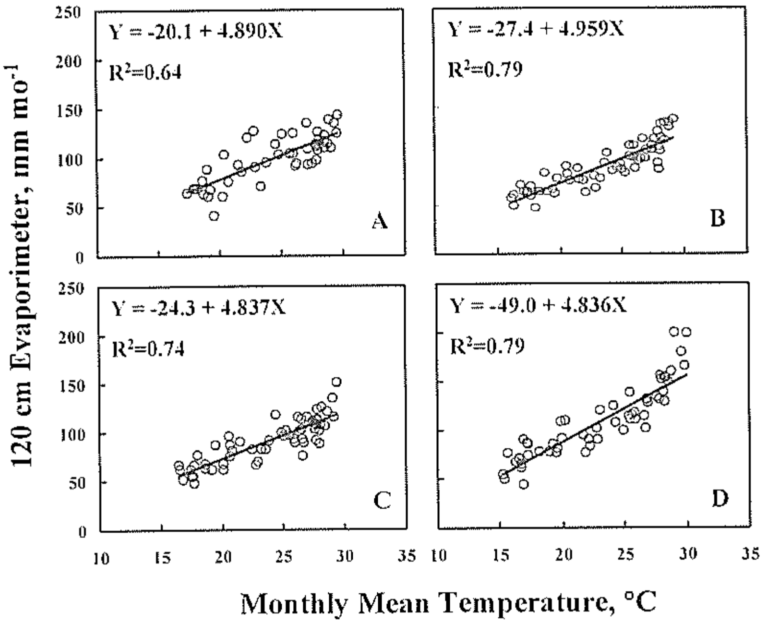


圖3. 氣象測站盆面蒸發量與氣溫之關係(A)台南站467411(B)嘉義站467480(C)台中站467490(D)梧棲站467770。

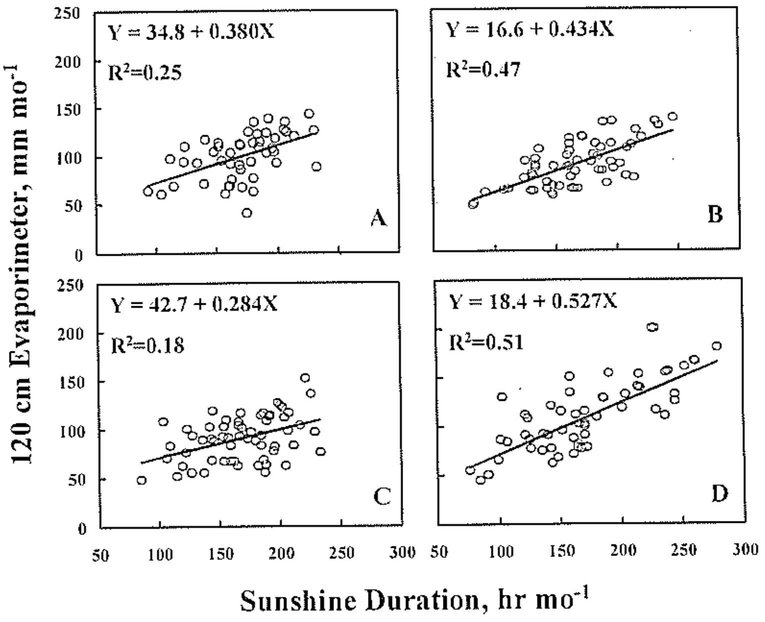


圖4. 氣象測站盆面蒸發量與日照長度之關係(A)台南站467411(B)嘉義站467480(C)台中站467490(D)梧棲站467770。

3)、和日長(圖4)與盆面蒸發量之間有良好的相關，這也是第(1)、(2)類的方法可以合理推估地表蒸發散量的原因。由於決定地表蒸發散量的重要因素不只日射與氣溫兩項，因此第(1)、(2)類的方法通常只適合作爲估算長期(如每月)地表的盆面或潛在蒸發散量使用。

Penman(1948)曾應用由能量平衡觀念導出的第(3) 類的方法估算水面蒸散量。由於此類方法具有更好的物理基礎，理論上不僅可以估算的更爲精確，也可用於估算短期間的蒸發散量，因此已被使用於潛在(盆面)蒸發散量和作物需水量之估算(施及黃，1987；陳，1991；ICID, 1994；甘等，1996；陳及甘，1997)。此類方法所需的觀測項目多，且大量使用經驗公式以估算淨輻射能量、土壤熱通量、作物相關參數以及風速函數等計算過程中必須之項目。由於各地微氣象環境、作物特性、以及觀測儀器架設高度都不儘相同，若直接引用其他地區發展之經驗公式估算田間蒸發散量則準確性必然較差，最好仍以當地累積的長期試驗資料進行相關經驗公式之修正。目前臺灣地區應用氣象資料估算作物蒸發散量仍多推薦使用Blaney－Criddle法(施等，1988；張及蔡，2000)，主因該法僅需月平均氣溫和依據緯度推算之每月日長佔全年日長百分比兩項資料。

應用氣象資料僅能推估當時氣候環境下的盆面或潛在蒸發散量，如需推估田間作物的蒸發散量，還須乘以適當的作物係數。這些作物係數都必須經由經由長期田間試驗才能求得，雜作灌溉手冊(1980)、張及蔡(1985)、施等(1988)均列有臺灣地區以往有關水稻和數種旱作試驗所求得之作物係數。惟作物係數不僅因氣候環境改變而有地區性與季節性的差異，作物品種、栽培管理方式、土壤性質等因素也可能影響作物係數的數值。由於作物係數數值直接影響所推估出的田間蒸發散量，因此對於作物係數的準確性與適用性實需給予高度重視。在目前強調水資源必須節約使用的大環境下，如何儘快依地區、季節、作物、土壤等因素提出相對應的作物係數，以供進行水資源的合理分配與規劃，應是農業界相關科研人員的重要使命之一。

參、區域蒸發散量之估算與應用

地表蒸發散量的多寡，攸關各地區水資源的規劃與利用，以往有關蒸發散量之研究，多偏重於局地微氣象環境與農田蒸發散量間之關聯，較少對大區域範圍內之蒸發散量進行估算。氣象測站的資料屬於點的資料型態，若要估算大範圍的蒸發散量，則可以應用地理統計技術，將具有空間相依性之點的資料型態轉換成面的資料型態。

申及黃(1996a)研究結果指出，即使在本省西南部地區的平原地形上，各氣象測站觀測之項目中，除氣溫與日射量兩項觀測值有較廣的適用範圍外，其餘如濕度、風速、蒸發量等觀測值的適用範圍均侷限在測站附近。因此不論單獨採氣象測站的蒸發皿資料，或採用由多項氣象因子估算之混合法(如Penman 法)，都可能因各測站間蒸發皿、溼度、風速等測値的空間相依性差，而無法正確進行空間分佈之計算。最好利用具有較高空間相依性的氣溫與日射量測值，以第(1)、(2)類的方法間接推算研究區域內盆面蒸發散量之空間分佈。

申及黃(1996b)曾應用臺灣西南部地區九個測站之月平均氣溫和日射量資料，利用地理統計技術計算區內每日氣溫與日射量月平均值於2km×2km 網格下的空間分佈值，再應用Jensen－Haise法分別求出各網格位置的盆面蒸發散量值，以得到臺灣西南部地區盆面蒸發散量的空間分佈圖。圖5則爲區內各地潛在蒸發量於冬季和夏季時典型的空間分佈。由圖中可知盆面蒸發散量的空間分佈，則約略呈現帶狀之分佈，此與區內因地形平坦，日射量之分佈依餘弦定律原理應大略與緯度平行的推論相符。此外，冬季時因氣溫與日射量均低於夏季，因此估算所得之各地盆面蒸發散量冬季比夏季低。若直接以各氣象測站的盆面蒸發量進行空間分佈計算(圖6)，因盆面蒸發量測值受局地多種微氣象環境因子的影響，因此所得之蒸發散量空間分佈圖很難依據氣象學理論解釋。

申及黃(1996b)由不同年期各月份潛在蒸發散量的空間分佈資料，配合水稻在不同生育階段的作物係數，可進一步推估各地一、二期作水稻田間總蒸發散量的累年平均值或最大值，此類資訊可提供區內各農田水利會擬定轄區內灌溉計畫時參考。利用區內各月份潛在蒸發散量與降雨量的空間分佈資料，佐以區內各主要土類之分佈區域、有效水分含量等土壤相關資訊，即可評估旱季時區內土壤的乾旱程度，此類資訊也是進行農業生產與相關投資規劃時的重要參考資料。

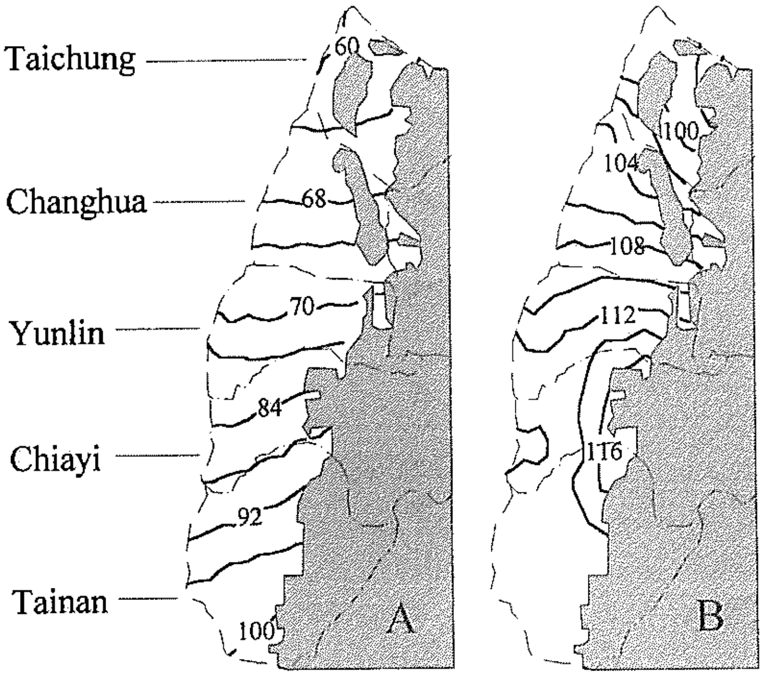


圖5. 利用氣象測站氣溫和日射量資料所推估之台灣西南部區域盆面蒸發散量典型分佈圖(A)冬季(B)夏季(取自申及黃，1996b)。

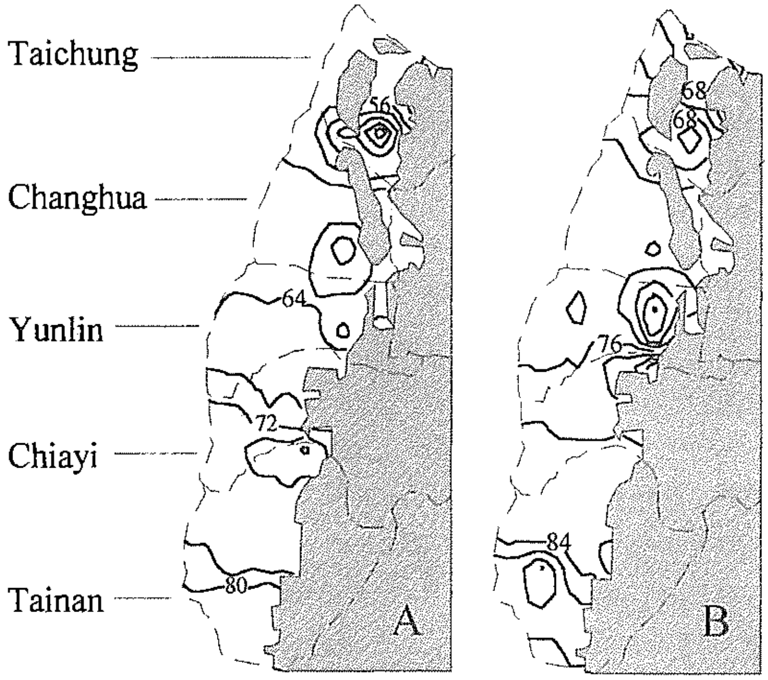


圖6. 利用氣象測站盆面蒸發量資料所推估之台灣西南部區域盆面蒸發散量典型分佈圖(A)冬季(B)夏季。

肆、結語

田間蒸發散量的多寡不僅直接影響土壤中的有效水分含量及作物產量，也是擬定灌溉計畫和進行水資源規劃時的重要參考資料。進行田間蒸發散量測定，除可以提供計算作物係數的必要資料外，也是評估作物水分利用效率的重要依據。利用滲漏計法和微氣象法都可獲得準確的每日蒸發散量資料，但滲漏計法受設置地點和作物栽培與管理能力之限制，要依作物種類、土壤性質、氣候條件分別求得適用的作物係數，將是非常耗時與艱鉅的工作。微氣象法由於可將設備移動至選定的試驗地區進行，因此較爲靈活與方便。

應用氣象資料可以間接推估大區域盆面蒸發散量的分佈圖，但必須考量所使用氣象測站資料的適用範圍與測站密度。由區域盆面蒸發散量分佈圖，再佐以適當的作物和土壤參數，可以推估田間作物蒸發散量分佈圖、土壤乾旱發生難易度分佈圖等多種與水資源規劃和農業生產密切相關的資訊。惟以往經驗顯示，所需的作物與土壤參數資料仍非常粗放，還有相當大的改進空間。

伍、參考文獻

中央氣象局。1986。地面氣象測報作業規範。中央氣象局。292pp.

申雍、黃學文。1996a。臺灣西南部地區氣象資料有效範圍之檢驗。中華農業氣象 3：33-43。

申雍、黃學文。1996b。臺灣西南部地區潛在蒸發散量之估算與應用。中華農業

氣象 3：141-149。

甘俊二、陳清田、陳焜耀。1996。臺灣地區作物需水量推估模式之合適性研究。中國農業工程學報 42:8-19。

施嘉昌、徐玉標、曹以松、甘俊二。1988。灌溉排水原理。第三版。中央圖書出版社。531pp.

施嘉昌、黃振昌。1987。作物需水量與氣象因子相關理論分析研究。中國農業工程學報 33:1-27。

姚銘輝、蔡金川、梁連勝。2002。水稻植冠之氣象因素垂直剖面及通量之量測。中華農業研究(投稿中)。

黃金山。1992。臺灣農業經營的轉變及用水的調整。農業用水管理研討會論文集。p 77-89。中國農業工程學會。

陳清田、甘俊二。1997。臺灣地域性作物需水量之推估研究。中國農業工程學報 43:1-18。

陳清田。1991。嘉義地區作物需水量推估之研究。中國農業工程學報 37：82-109。

張建勛、蔡明華。2000。灌溉與排水。第二版。中國土木水利工程學會。269pp.

楊之遠、曾文柄、柳中明。1989。近地面邊界層－水稻集團與大氣間動量、熱量與水汽量之垂直輸送通量分析(一)。臺灣地區農業氣象應用資源研討會專輯。p.141-169。中央氣象局。

雜作灌溉手冊。1980。臺灣省水利局。

Brutsaert, W. 1984. Evaporation into the atmosphere－Theory, History, and Applications. D. Reidel Publishing Company, New York.

Doorenbas, J. and W.O. Pruitt. 1975. Crop Water Requirements. FAO irrigation and drainage paper No. 24.

Jackson, R.D., B.A. Kimball, R.J. Reginato and F.S. Nakayama. 1973. Diurnal soil-water evaporation: Time-depth-flux patterns. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37:505-509.

Jensen, M. E. and H. R. Haise. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. J. Irrig. Drainage Div. ASCE 89:15-41.

Kanemasu, E.T. 1979. Techniques for calculating energy and mass fluxes. p. 156-182. In: Modification of the Aerial Environment of Plants. Barfield, B.J. and J.F. Gerber (eds.).

Krogman, K.K. and E.H. Hobbs. 1976. Scheduling irrigation to meet crop demands. Publ. 1590. Agriculture Canada. 18pp.

Oke, T.R. 1978. Boundary Layer Climates. Methuen and Co. Ltd., London. 372pp.

Pelton, W.L. 1961. The use of lysimetric methods to measure evapotranspiration. p. 106-134. Proc. 2nd Hydrology Symp. (Toronto), Canada.

Penman, H. L. 1949. The dependence of transpiration on weather and soil conditions. J. Soil Sci. 1:74-89.

Retta, A. and R.J. Hanks. 1980. Corn and alfalfa production as influenced by limited irrigation. Irrig. Sci. 1: 135-147.

Rosenberg, N. J., B. L. Blad and S. B. Verma. 1983. Micro-climate: The biological environment. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Tanner, C.B. 1957. Factors affecting evaporation from plants and soils. J. Soil Water Conserv. 12:221-227.

Tanner, C.B. 1981. Transpiration efficiency of potato. Agron. J. 73:59-64.

Verma, S.B. 1990. Micrometeorological methods for measuring surface fluxes of mass and energy. Remote Sens. Rev. 5:99-115.

Wight, J.R. 1971. Comparison of lysimeter and neutron scatter techniques for measuring evapotranspiration from semiarid rangelands. J. Range Management 24:390-393.

Wilcox, J.C. and W.K. Sly. 1974. Ratio between evapotranspiration from lysimeters and evaporation from small evaporimeters using 2- and 3-hour periods of measurement. Can. J. Plant Sci. 54:559-564.

Van Bavel, C.H.M., L.J. Fritschen and W.E. Reeves. 1962. Transpiration by Sudan grass as an externally controlled process. Science 141:269-270.

Measurement/Estimation and Application of Field Evapotranspiration

Yuan Shen
Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung-Hsing University,
Taichung, Taiwan (ROC)
E-mail:yshen@nchu.edu.tw

Abstract

Field evapotranspiration affects not only soil available water and crop yields but also water resources management and planning. In the paper, measurement techniques and estimation methods for determining field evapotranspiration were discussed. Spatial distribution of regional potential evapotranspiration and its agricultural applications were also discussed. Both lysimetric and micrometeorological methods can provide dynamic changes of field evapotranspiration which serves as the basis of computing crop coefficients and crop water use efficiency. Meteorological data are suitable for estimating long-term field evapotranspiration. To estimate regional potential evapotranspiration from meteorological data, the representative range of data used and density of available stations must be taken into consideration. For southwest region of Taiwan, spatial distribution of monthly pan evaporation can be reasonably estimated by mean air temperature and solar radiation.

Key words：Water resources, Irrigation, Meteorology, Climate, Crop water use.

農業氣象及農業水資源之應用與管理
作物耐旱原動力－滲透調節物
97-104, 2002

8 作物耐旱原動力－滲透調節物

朱德民
國立中興大學農藝學系
E-mail:tmchu@dragon.chu.edu.tw

摘要 -- 98
壹、前言 ------------------------------------ 98
貳、作物發生水分逆境的原因 ---------------------- 98
參、作物遭受水分逆境的反應 ---------------------- 99
肆、作物耐旱性 -------------------------------- 99
伍、作物在水分逆境下的滲透調節 ------------------ 99
陸、常見的滲透調節物 --------------------------- 100
柒、近期陸續被發現的滲透調節物 ------------------ 100
捌、調節物的利用 ------------------------------ 102
玖、展望 ------------------------------------ 102
拾、參考文獻 --------------------------------- 103
英文摘要 ------------------------------------ 104

8 作物耐旱原動力－滲透調節物

朱德民
國立中興大學農藝學系
E-mail:tmchu@dragon.chu.edu.tw

摘要

作物在水分逆境下，生長受阻，產量減少，但是一些耐旱品種可以合成一些滲透物質，維持細胞膨壓，增加耐旱能力。這些滲透物質除了調節滲透勢外，尚可保護逆境下的酵素作用。除了過去常見的碳水化合物、胺基酸；近年來一些滲透物質陸續被發現，主要有甜菜鹼、proline-衍生物和糖醇類。目前利用遺傳工程，將這些調控因子轉殖作物上，以增加作物耐旱能力的工作已陸續展開。

關鍵詞：水分逆境、滲透調節物、耐旱性。

壹、前言

眾所週知，水分是維持作物生長最主要的成分；水分亦是決定作物生長、分佈的主要環境因子之一。其原因是作物必須藉著水分維持其細胞的膨壓、傳遞物質的運轉，調節體溫及進行光合作用等，因此作物在其一生中必須要有適當水分供應，以維持正常的水分代謝作用。

作物所需要的水分主要由根部自土壤中吸收，除少數水分被利用外，大部分經葉部蒸散而出。作物藉著根部吸收、莖部運轉、葉部蒸散而維持一個完整的水分平衡(water balance)體系，這種水分平衡系統維繫著作物一生的生長與發育。

貳、作物發生水分逆境的原因

當作物體水分平衡遭受破壞，作物會發生水分逆境(water stress)。常見的水分逆境包括乾旱(drought)或缺水(water deficit, water stress)或淹水傷害(flooding stress)。造成作物水分平衡破壞原因主要有三：

(1) 作物根部吸水不足。

(2) 作物葉部過度蒸散失水。

(3) 作物根部吸水不足及葉部過度蒸散同時發生。

不同發生原因造成作物的水分逆境並不相同。作物根部吸水不足主要是土壤水分缺少，土壤發生乾旱或土壤溶液濃度太高，作物無法吸收水分。此外作物根部發生吸收障害，亦可能使吸水不足現象發生。作物葉部過度失水主要是溫度過高，蒸散作用旺盛，蒸散作用與吸水作用同時發生時間差距(time lag)，二個作用無法完全配合。一般而言，前者原因所造成的傷

害較後者爲嚴重(朱，1990)。

參、作物遭受水分逆境的反應

作物遭受水分逆境後會產生相當複雜的反應，反應的癥狀、形式、大小程度隨著作物種類、逆境大小及逆境時作物生長環境不同而不同。一般而言，可從三個層次說明：

(1)形態層次：作物形態最明顯的反應爲葉片捲曲脫水、黃化，植株逐漸枯萎最後死亡。作物生長停止、結實降低、產量驟減。

(2)生理層次：作物葉片氣孔關閉，光合作用減少，細胞伸長受到抑制，呼吸作用減少，水分潛勢(water potential)明顯下降。

(3)生化層次：蛋白質合成受抑制，分解增加；DNA與RNA含量減少，作物內生荷爾蒙含量改變，離層酸(abscisic acid；ABA)含量增加，細胞分裂素(cytokinine)含量減少。

這些反應無論就形態、生理、生化層次，均是呈連續性變化及漸進式改變，而且各個反應相互控制相互牽制的(Hsiao and Acevedo, 1974)。

肆、作物耐旱性

雖然作物遭受缺水逆境產生傷害反應，但有些作物具有耐旱(drought tolerance)能力，在水分逆境下仍然生長存活，特別是一些生長在沙漠的植物，可以容忍極端乾旱。作物可以利用許多不同方式達到耐旱的能力，但基本上不外是增加作物對土壤水分的吸收能力，以及減少作物體內水分的消耗，以求作物體內水分保持平衡。

綜合而言，可分爲兩方面說明作物達到耐旱能力：

(1)形態方面

最常見葉片捲曲、變小或脫落，甚至一些葉片退化呈針狀，主要減少葉片水分的蒸散；此外葉、莖增加蠟質、毛茸，改變葉片生長的角度亦具有相同效果。

一些作物增加根長度與根毛數目來增加對深層土壤水分的吸收亦是常見耐旱的方式之一。

(2)生理、生化方面

在作物生理、生化方面產生適應的方式相當多，但最主要是增加細胞溶質(solute)，調節細胞滲透潛勢(osmotic adjustment)，以減少細胞在乾旱過程中遭受缺水的衝擊，以達到細胞生存的能力。

伍、作物在水分逆境下的滲透調節

作物遭受缺水逆境時，最顯著的反應爲葉片凋萎，嚴重時整株枯萎、死亡，顯然作物組織內水分含量明顯減少。一般常以『水分潛勢』來表示組織內水分狀態(water status)的變化。水分潛勢主要包括兩個成分即滲透潛勢(osmotic potential)及膨壓潛勢(turgor potential)。

當作物遭受缺水逆境時，作物水分潛勢明顯下降，相對地滲透潛勢及膨壓潛勢亦相伴下降，結果細胞膨壓(turgor)減少，細胞萎凋，植株枯萎。多數證據顯示，當作物遭受缺水逆境，水分潛勢下降時，若能維持膨壓或減少膨壓的改變，則作物可在水分逆境下生存，而表現其耐旱能力。

爲了達此一目標，作物必須進行滲透潛勢的調整，此即所謂的滲透調節(osmotic adjustment)。換言之，任何作物在缺水環境逆境下，其細胞滲透調節能力越大者，越具有耐旱能力。細胞內滲透潛勢的調整需要一些物質進行，這些物質稱滲透調節物(compatible osmotic solute)。

陸、常見的滲透調節物

參與細胞內滲透調節物的種類很多，不同作物滲透調節物並不相同，有時僅有一種，有時有數種；有些滲透調節物只發生在某些特殊科、屬植物中，但有一共同特性是這些調節物必須具有高度溶解性，在高濃度下對細胞沒有毒害；此外在細胞內可自行合成，或自外界吸收。

滲透調節物可分爲無機及有機二大類：

無機物：主要是Na^+、K^+、Cl^-等離子。

有機物：

(1)碳水化合物：包括glucose、fructose、sucrose，以sucrose爲主。

(2)胺基酸：各種胺基酸，其中以proline爲主。

(3)糖醇：如manitol、glycerol等。

(4)四級硫化物：重要的有betain、glycinebetain等。

(5)其他：有機酸。

不同植物或作物及細菌、海藻、動物細胞在不同逆境下所合成、累積的滲透調節物並不相同，並舉一些重要例子說明如下：

(1)細菌：*Klebsiella*、*Salmonella*，以胺基酸glutamate、proline爲主。

(2)眞菌：*Saccharomyces rouxii*，以arabitol爲主。

(3)海藻： *Chlorella pyrenoidosa*，以sucrose爲主。

(4)高等植物：大麥以betaine、proline爲主，*Atriplex spongiosa*以betain爲主。

柒、近期陸續被發現的滲透調節物

近年來由於儀器精密，分析方法的發展，一些新的滲透物質逐漸被發現，證明存在於某些植物，或特定一群植物中。

(1)糖醇(sugar alcohol，或polyols)

所謂糖醇是單糖分子上aldehyde group或keto group被hydroxyl取代。目前天然產生的糖醇有17種(圖1)，已被分離有十三種，其中以manitol分佈最廣，其他最常見有sorbitol、myo-inositol、D-pinitol、scyllitol等。圖2爲my-inositol及polyol合成途徑及相互關係(Popp and Smirnott, 1995)。

(2)四級銨化物(quaternary ammonium；QAC)

四級銨化物就是amino acid被一些methy group所取代而形成的化合物，一般稱此類化合物爲甜菜鹼(betain)(Hanson et al., 1995)。植物體內常見有glycinebetain、proline-betain、3-hydroxyproline betain、β-alaninebetain、trigoneline及choline等。其結構如圖3所列：

(3)三級硫化物(tertiary sulphonium；TSC)

在植物體發生較少，不如betain普遍 。已知有β-dimethylsulphonio

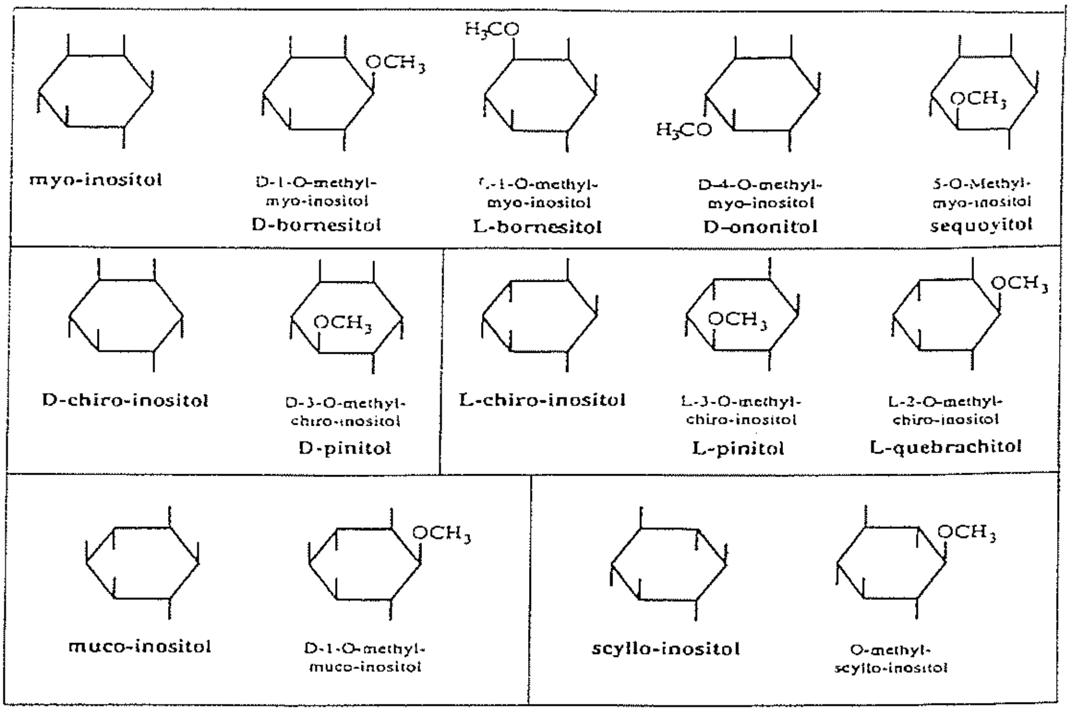


圖1. 天然產生的polyols。

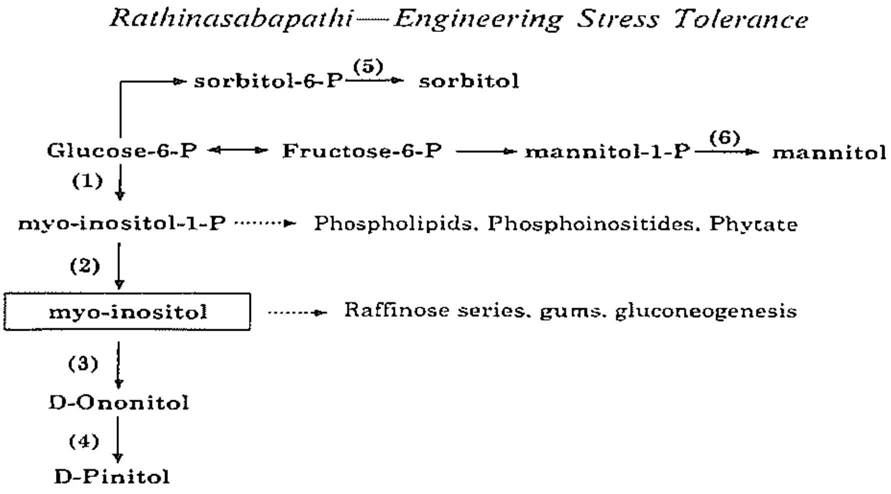


圖2. polys合成的途徑。

propionate(DMSP)以及δ-dimethylsulphoniopentanoate(Hanson et al., 1995)。β-dimethylsulphonio propionat構造式與β-alaine betain相同，只是其中N 被S取代，主要累積在藻類及一些耐鹽高等植物。四級銨化物及三及硫化物，一般是植物遭受較嚴重、長期缺水逆境才會累積，其含量約在50-250 μmol g^{-1}dwt，累積速度較其他溶質爲慢。

(4)proline的衍生物

重要的有N-mehty-L-proline(MP)、N-methyl-trans-4-hydroxy-L-proline(MMP)、

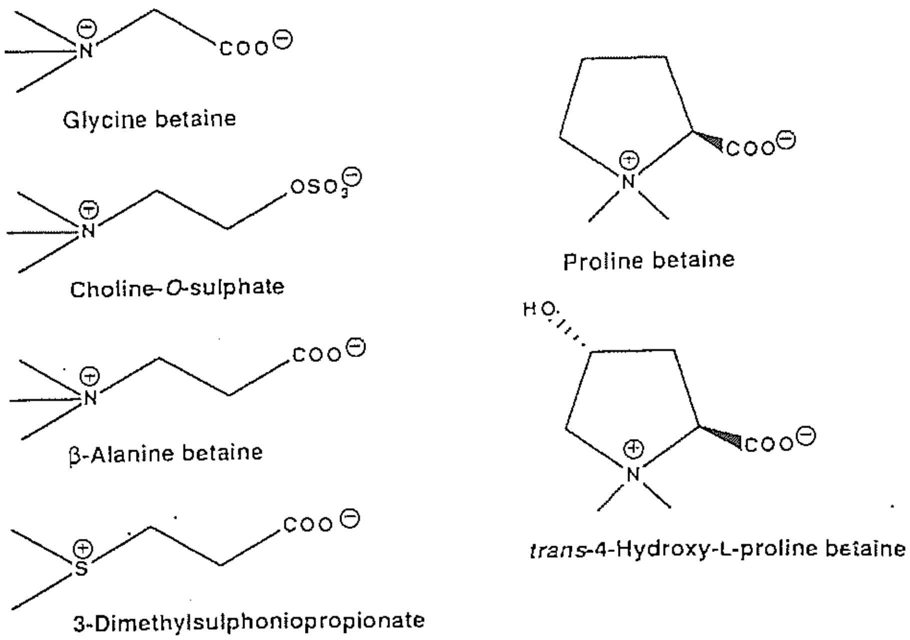


圖3. 各種甜菜鹼的結構。

L-proline betaine(stachydrine)、trans-4-hydroxy-L-proline betain(betonicine；DMP)。這些proline衍生物並非所有植物都能累積，例如prolinebetain和trans-4-hydroxy-L-prolinebetain較proline更具滲透調能力(Samaras *et al*., 1995)，目前對其特性、合成過程並不大了解。一些學者已證明苜蓿中N-methy-L-proline爲L-prolinebetain由proline合成過程的中間產物。

$$\text{L-proline} \xrightarrow{+CH_3} \text{N-methyl-L-proline} \xrightarrow{+CH_3} \text{L-prolinebetaine}$$

捌、調節物的利用

滲透調節物除了在逆境下調節滲透潛勢外，這些化合物並不會抑制酵素活性，所以亦稱可相容溶質(compatible solute)(John *et al*., 1968)，可避免酵素及膜系於逆境下所造成的破壞。亦有學者稱爲滲透保護物(osmotic protective compound；Osmoprotectant)，除外一些其他功用亦陸續被發現，例如manitol可以防止氫氧自由基氧化作用，減少逆境時所產生的氧化傷害。

玖、展望

目前許多證據顯示滲透物質在植物遇到逆境時，細胞可以合成，維持細胞膨壓，增加作物對逆境的耐性，對控制滲透物質合成的基因工程方面已展開研究。例如，將大腸桿菌的manitol-1-phosphate(mtl D)基因轉殖至菸草及阿拉伯芥中可誘導甘露醇(manitol)的生產及增加植物耐鹽性即爲一成功的例子。

雖然如此，在自然界中，耐逆境植物具有廣泛但不同的逆境適應性，然而這些性狀在分子層次上的意義尚未被完全了解，確定這些因子並了解這些基因的功能而加以利用，這是吾人在作物逆境研究領域中應努力的方向。

拾、參考文獻

朱德民。1990。植物環境與逆境。國立編譯館。台北。

Hanson, A. D., J. Rivoal, M. Burnet and B. Rathinasabapathi. 1995. Biosynthesis of quaternary ammonium and terriary sulphonium compounds in response to water deficit. p. 189-198. In: Environment and Plant Metabolism. N. Smirnoff, ed. Bios Sci. Pub. Co., UK.

Hsiao, T. C. and E. Acenedo. 1974. Plant response to water deficit, water use efficiency and drought resistance. Agri. Meteorol. 14: 59-84.

Johnson, M. K., E. J. Johnson, R. D. MacElroy, H. L. Speer and B. S. Bruff. 1968. Effect of salts on the halophilic alga *Dunaliella viridis*. J. Bacterology 95: 1461-1468.

Popp, M. and N. Smirnoff. 1995. Polyol accumulation and metabolism during water deficit. p. 199-215. In :nvironment and Plant Metabolism. N. Smirnoff, ed. Bios Sci. Pub. Co., UK.

Rathinasabapathi, B. 2000. Metabolic engineering for stress tolerance: Installing osmoprotectant synthesis pathways. Ann. Bot. 86: 709-716.

Samaras, Y., R. A. Bressan, L. N. Csonka, M. G. Garcia-Rios, M. Paino D'urzo and D. Rnodes. 1995. Proline accumulation during drought and salinity. p. 161-188. In:Environment and Plant Metabolism. N. Smirnoff, ed. Bios Sci. Pub. Co., UK.

A Key Factor Regulating Crop Tolerance to Water Stress - Osmotic Regulator

Teh-Ming Chu
Department of Agronomy, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan (ROC)
E-mail:tmchu@dragon.chu.edu.tw

Abstract

Abiotic environmental stress such as drought, salinity and low temperature are major limitation for crop growth and productivity. Certain crops have evolved a number of adaptations to such stress. Accumulation of organic solute (known as osmotic solute) is a common metabolic adaptation. These solutes protect enzymes against damage caused by stress, some solutes also protect the metabolic machinery against oxidative damage. Recently, some important solutes such as betain, proline-derivate and polyols have been found in diverse taxa. Future research avenues will be on the identification and exploitation of diverse osmotic solutes in naturally stress-tolerant plant at the molecular level.

Key words: Water stress, Drought tolerance, Osmotic regulators.

農業氣象及農業水資源之應用與管理
水稻深水灌溉與乾旱期的用水管理
105-114, 2002

9 水稻深水灌溉與乾旱期的用水管理

甘俊二
國立臺灣大學生物環境系統工程學系
E-mail:kce@upland.ae.ntu.edu.tw

摘要 -- 106

壹、前言 ------------------------------------ 106

貳、研究方法與結果分析 ---------------------- 107

參、深水灌溉的優點 -------------------------- 109

肆、乾旱時期用水管理 ------------------------ 109

伍、結語與建議 ------------------------------ 111

陸、參考文獻 -------------------------------- 113

英文摘要 ------------------------------------ 114

9 水稻深水灌溉與乾旱期的用水管理

甘俊二
國立臺灣大學生物環境系統工程學系
E-mail:kce@upland.ae.ntu.edu.tw

摘要

近年來臺灣地區新水源開發日益困難，而非農業用水需求急速增加，可利用的水資源日漸不足。有鑑於此，本文提供一個維持現有灌溉排水渠道的方法—深水灌溉，以期能提高現有水資源的利用率，解決水資源短缺的問題。另外對乾旱期之農業用水調配方式作一探討。

關鍵詞：深水灌溉。

壹、前言

近幾年來，由於全球性的不景氣及臺灣地區泡沫經濟雙重影響之下，臺灣地區的經濟情況大幅衰退。為了促進臺灣地區以高科技為主的經濟產業蓬勃發展，已於民國九十一年初加入WTO（世界貿易組織）。然而加入WTO必須大量撤除關稅與非關稅貿易障礙，因此對於部分相對於國外較無競爭力的產業而言，原本政府對外課徵較高關稅的保護傘一一消失。這些產業若無法及時調整腳步，轉變經營型態或開發新技術來提升其國際競爭力，便會面臨虧損甚至倒閉的危機。

農業是立國之本，尤其是水田，對國家總體經濟之效益，除卻農家從水稻灌溉「增產」獲致之「私效益」外，平時對「國土永續利用」、「水循環生態方面」，尚兼具有「調蓄洪水」、「補注地下水」、「綠美之環境」、「水之淨化」、「大氣氣溫之調節」、「氧氣之補給」等「公效益」貢獻；另外在乾旱時期，對缺水地區國民亦可以提供生活用水不足時之「支援用水」貢獻，其存在的價值絕非其產值所呈現的數字可比擬。近年來行政院農業委員會積極推動「種水政策」，希望在未來能將雨季及平時多餘水量引入剩餘的水田面積進行蓄存，強化水田的調蓄洪水功能，提供枯水時期農業甚至其他用水標的儲備用水。水田的蒸發散量亦能補足正常之大氣中水分，創造親水環境空間及穩定大地之適宜氣溫，藉以維持原有水田之生態及生活機能，避免造成水田大量休耕後，形成區域環境的失調。

本研究之主要目的，擬配合上述種水政策之推動，針對有關水稻深水灌溉相關之技術從事研究，深入瞭解並評估臺灣實

施水稻深水灌溉之可行性，並維持原有的糧食生產功能。日本過去之水田灌溉水深亦跟我國一樣約爲6公分，然而因其氣候較冷及爲了改善農村環境，目前灌溉水深已逐步提高，甚至有達20-30公分之高者。故本研究希望藉由實驗來控制水深，觀察其對水稻生長之影響，以期做爲未來實施「種水政策」及推廣深水灌溉之參考。

貳、研究方法與結果分析

本研究爲了深入瞭解水稻深水灌溉之技術，特別蒐集了國內外相關文獻資料及報告，在臺大農場滲漏計實驗田(Lysimeter)種植水稻，田區共有三塊；每塊面積6平方公尺(長4公尺、寬 1.5公尺)，田埂以混凝土砌成，形狀規模均勻，坐向呈坐西朝東，田區四周有塑膠布包圍可以不考慮天然的降雨，直接由水龍頭引自來水充作灌溉用水並控制水深的變化。插秧之前先使土壤泡水浸軟一星期左右，開始爲期120天左右的生長期距，希望藉由開始種植、觀測，並擬定以下各項之工作項目，藉以完成研究。

一、相關資料之蒐集與分析

(1)蒐集國內外對水田灌溉之時態資料及文獻。

(2)從水稻栽培之自然環境、灌溉用水型態、歷史背景，分析水田灌溉之各種可能機能。就其功能及貢獻藉由實驗輔助，達到有力的宣導效果。

二、探討深水灌溉對水稻生長之影響

(1)規劃包含A區(機耕深水)、B區（正條密植深水）及C區(機耕淺水)，以進行實驗比較之。

(2)實驗、觀測深水灌溉後對水稻不同生長期之影響。

(3)觀察、比較深水灌溉對稻米之品質及產量之影響。

以下爲試驗期間幾項重要數據：

根據表1，三區產量推算之結果，以產量而言，由A、C區可看出深水明顯比淺水少了20%，而由A、B區則可看出正條密植產量又比機械耕種少了15%。再以品質來

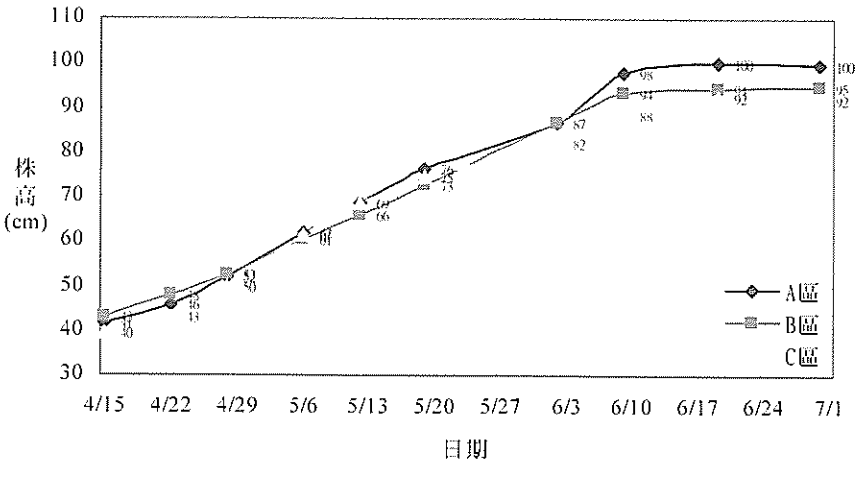


圖1. 三區不同生長期之平均株高圖。

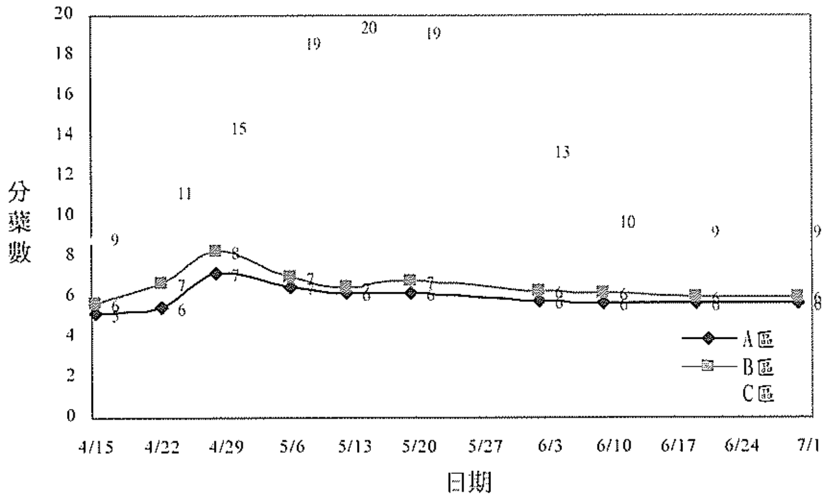


圖2. 三區不同日數的平均分蘗數圖。

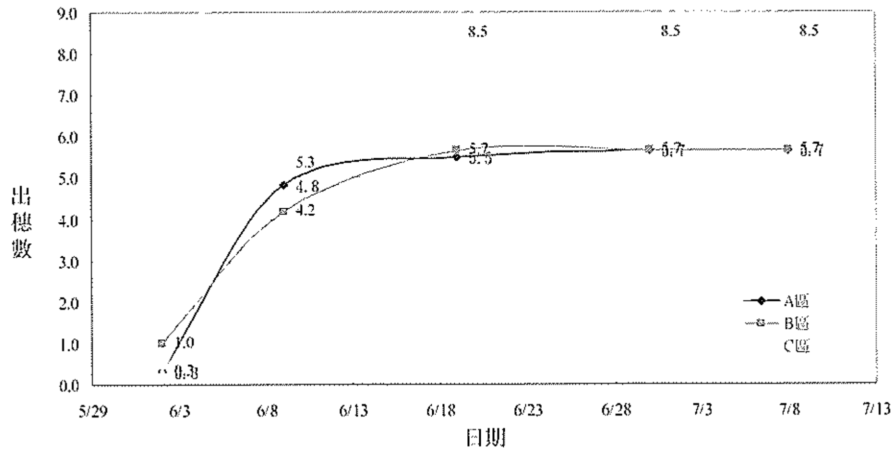


圖3. 三區不同日數的平均出穗數圖。

表1. 三區個別之產量。

編號	名　稱	A區	B區	C區
(1)	成熟穗數(支)	5.33	5.50	7.00
(2)	每成成穗之粒數(粒)	70.20	70.10	68.40
(3)	千粒重(克)	25.69	25.25	25.52
(4)	每平方公尺之株數(叢)	20.00	17.00	20.00
(5)	每平方公尺之重量(公斤)	0.1923	0.1655	0.2444
(6)	每公頃之重量(公斤)	1923	1655	2444

註：(5)＝(1)×(2)×(3)×(4)÷(106)，(6)＝(5)×10000。

觀察，A、B、C三區不論在千粒重或飽實粒百分比均無明顯差異。這樣的推估結果可以發現深水灌溉後及一般淺水灌溉除了產量之外其餘差異不大。原因可能是深水灌溉抑制分蘗，使得分蘗數過少，出穗數自然也就跟著變少。此點或許可以在稻作分蘗期時多加留意水深的控制來改善。

參、深水灌溉的優點

深水灌溉的優點很多，以下針對稻作本身、灌溉管理及生態環境等三大項目分別說明：

一、對稻作本身的優點

1.抑制分蘗：水深高過分蘗點，可抑制分蘗長出新芽，增加收穫量。

2.水溫的變化少：深水水體保溫能力佳，每日溫差變化小，對於寒冷時期有利水稻生長。

3.寒害的防止：氣溫偏低的環境，深水有助於保溫，因而幼穗在深水被完全蓋住，比較不易受到冷害。

4.強風之影響：深水灌溉對於整株水稻有保護作用，不容易被強風吹垮產生倒伏現象。

5.雜草少：深水可以抑制雜草的生長，水深高雜草無機會著床滋生，因此水稻吸收養分多，收穫自然增加。

二、對灌溉管理形成的優點

1. 減少掌水工人力：由於灌溉水深的提高，使得灌溉期距拉長，灌溉次數自然而然隨著減少，掌水工工作負擔大大降低，人力需求跟著減少。

2.降低除草人力：深水可以抑制雜草的生長，水深高雜草無機會著床滋生，除草人力物力需求自然減少。

3.降低缺水期的風險：若將水稻田比喻成一輛車，則田間儲水量即是汽車的油箱，油箱越大，所能裝載的油料便越多，發生車子因為沒油而無法行駛的機會便越小。

三、對生態環境形成的優點

1.調節微氣候：由於水的比熱大，不容易隨著環境氣溫的改變而改變，若能大面積實施深水灌溉，對於緩和周遭環境溫度避能有極大助益。

2.提高地下水位：提高灌溉水深後，由於水壓提高，故入滲至地底下的水必然增加，久而久之必能為地下水位逐年降低的地區解決困擾，減少地層下陷的危機。

3.降低稻作無水可用的風險：由於灌溉期距拉長，於兩次灌溉期間下雨的機會越大，田面無水的情況便越少。

4.保育濕地：由於深水灌溉，使得水田長期處於湛水狀態，能夠提供多樣物種棲息及繁衍的空間，亦能給予附近居民一個免費享受田園之美的親水空間。

5.降低水田下游淹水的機會（圖4）：現階段臺灣地區農民每逢颱風入侵之前，均會預先將田間之檔水隔板去除，讓田裡面的水流掉，以避免颱風所挾之龐大雨量淹沒稻田。實施深水灌溉後，遇颱風來臨，非但不用將隔板去除，反而還可將隔板加高至40cm，蓄存至少15cm的雨水，再加上原有之23L $s^{-1}ha^{-1}$排水能力，預料應可以大大減少水田下游淹水的次數。

肆、乾旱時期用水管理

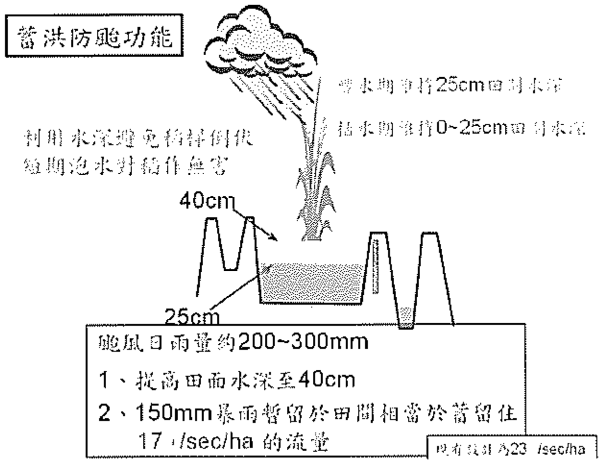


圖4. 深水灌溉之蓄洪防颱功能。

臺灣地區雖然擁有2,500mm的年雨量，但時空分配極為不均，故時常有旱災產生；再加上農業產値遠比工業為低，水量不足時往往第一個被犧牲的就是農業，更別提要其他標的支援農業用水了。所以農業必定要有一套自救的辦法，希望能在有限的水資源下，獲取最佳的收益。以下便提出數種農業在乾旱時期之對應方式：

一、輪流灌溉

簡稱為〞輪灌〞。為根據用水計畫，在適時適量依序供水之灌溉方法。多用於水稻灌溉，依實驗其用水量將較自古以來所習用之繼續灌溉方法節省用水17%-50%，而不減少水稻之單位面積產量。輪灌是間歇灌溉法的一種。輪灌法任何地區均可實行，惟輪區單區有明確劃分，且種植作物別統一，種植之時期應配合供水計畫。

二、非常灌溉

非常灌溉是一種臨時的灌溉方法，又稱〞間歇灌溉〞。當灌溉水源枯減至灌溉需水量40%以下，既不能全面續灌供水，亦無法按輪區單區順序依時供水時，為減輕災害損失，採用這種臨時的灌溉方法，依據臺灣省灌溉事業管理規則第十七條規定，其供水順序為：

(一)農作物生長期間迫切需水之田地。

(二)用水少而生產量多之田地。

(三)接近水源而圳路滲透損失最少之田地。

其方法又分為下列三種：

(一)減水深法：

視水源水量實際減少程度，依照配水比率減少各系統之配水量，至於田間灌溉則仍維持原訂輪距，以減少水深執行之。例如某系統原計畫灌溉水深12公厘／日，輪距五日，若水源減少30%時，灌溉水深應減為8公厘，輪距仍維持五日。

(二)輪距延長法：

視作物生育階段，在不影響作物生長之原則下，維持原一次灌溉水深，延長輪距實施配水。如原輪距五日，延長輪距為

八日。灌溉一次之水深不變。

(三)減少灌區面積法：

水源銳減至上述方法無法執行時，則停止部分農田配水，其處理方式可分二種：

1.集中法：將水量集中灌溉於滲漏最小，效率最大灌區。

2.平均分配法：停止供灌面積，依水源水量減少程度，按配水比率分配於各支分線系統。

伍、結語與建議

一、結語

1. 本實驗之水深除曬田外長期處於湛水狀態，淺水灌溉之水深與深水灌溉之水深兩者對照下，以不考慮排水而言，兩者水深之差距在有效分蘗結束至黃熟期這段期間可高達10至19cm左右，換算成蓄存於水田面積內，表示田間可再多蓄存之水量。以現階段臺灣地區水田面積35萬公頃而言，灌溉水深提高至25公分，田間有效蓄水容量達8億7千5百萬噸，可增加調蓄雨水的容量。

2. 近藤氏之報告指出，分蘗期最適水溫32-34度、穀粒形成最適水溫30度。此次實驗生長期內平均水溫少有超過30度，尤其在分蘗的時期，溫度都在20-25度左右及環境地力之影響，的確對水稻分蘗比較不利，以致於分蘗數不是很多。而分蘗的開始有延後發生的現象，本來一期作一般是在第20天左右必須分蘗，北部的天氣因爲適逢溫度處於比較偏低狀態，平均來說分蘗還是延後幾天之現象。平均分蘗數以C區最多9 支、A區6支、B區6支，對於深水灌溉來說抑制其分蘗數的生長是這次滿重要的關鍵，顯然深水的高度有抑制分蘗的可行性。由此，若能利用深水抑制分蘗數的特性，適量控制水稻分蘗數目，集中水中營養成分給各個分蘗，盡量使每個分蘗皆成爲有效分蘗，如此應可以增加水稻的品質與產量。

3. 日本是屬於中高緯度的國家，環境氣溫自然比臺灣偏低，而在日本水稻生長期長只有一期作，所以日本強調深水有保溫作用乃在於保護稻株避免受凍害，而我們的數據是取其平均數值，水溫差異不大也屬正常，但單就寒冷天氣做觀測時，也不難發現深水的保溫效應也是合理的。

4. 在實驗田A區(機耕深水)、B區(正條深水)、C區(機耕淺水)，我們有分別擺置了量測水深變化的標尺，雖不是很精密的儀器，所以也只能概估水深變化量；我們所觀測是以看水面下降多少做紀錄，而觀測誤差在合理範圍內可以忽略不計，而觀測的資料換算成一期作平均120日生長期的需水量，A區439.5mm、B區453.0mm、C區399.0mm，深水灌溉頂多需要再多40-50mm的需水量。如果扣除人爲觀測所估的誤差，所得的結果實屬合理。

5. A區在每成熟穗的平均粒數是70.2粒，B區在每成熟穗的平均粒數是70.1粒，C區在每穗成熟的平均粒數是68.4粒。而依稻穀千粒重的資料，我們也是就剛才提到區分飽實的顆粒及未飽實的顆粒，因爲生育調查株數所結穗的穀粒並沒有完全超過1000粒，所以每區調查部分以亂數方式挑出100粒秤重，共秤三次取其平均值，就當作我們量測穀粒的千粒重；A區平均25.69克、B區平均25.25克、C區平均25.52克，平均粒數及千粒重變化雖然只是有些微的

差距，結果差異不大。

6. 本實驗之結果顯示，深水灌溉的情形和比淺水灌溉差異性不大，經過長期深水浸泡不僅雜草減少，減少不必要的人工，而排水是滿重要的問題，沒有在適當時機放水促進土壤空隙養分的交換，但如果排水又造成無法抑制分櫱數，所以處理過程的拿捏是要多花心思研究。考慮到是深灌的條件下，完全依照自訂灌溉水深不減水的情況，一來分櫱數可以有效控制不置於產生太多無效分櫱，二來水深高，雜草被覆蓋過難以生存，對低產値水稻可以減少不必要的開支。

7. 深水灌溉有關雜草的防治分爲兩個階段，一爲剛插秧水深尚未提高時田面所長的『陸草』，水深的提高後即被水淹沒而死去；另一爲水深提高後所長的『水草』，收割時期田面無水自然死亡。兩者皆提供了部分有機肥料的來源。

8. 目前臺灣地區水稻栽培成本相當高，原因當然很多，灌溉次數過多亦爲主要原因之一。若能實施深水灌溉，則灌溉期距可大幅拉長至20天以上，大大減少了灌溉時所需的掌水工人力。大幅降低灌溉成本，以減少加入WTO後外國低價米大量傾銷的影響。

9. 休耕田挖溝蓄水亦爲本研究的新概念之一，本研究試驗結果雖不盡理想，卻也得到部分結論。以挖溝方式破壞部分水田牛踏層來加強滲漏的想法間接獲得應證、提高水頭壓力以加快入滲速度等。若能於豐水期時大量引入餘水置於休耕田中，並加速其地下水補注的功能，除了減緩超抽地下水所造成的弊端外，遇缺水時，尚可抽取地下水以應燃眉之急。

二、建議

1. 本研究證明了臺灣地區深水灌溉的水稻得以存活，但此類型的試驗應持續進行，在不影響水稻生產之前提下，若要獲得更佳之水稻產量則必須結合農改場專家深入研究探討，經過反覆試驗始能得到合理之效果。

2. 這次水稻深水栽培之實驗滲漏計試驗田模擬，由於研究執行只是第一期作，除了種植經驗並不甚多，而且在環境地域上的選擇並不是一般農民實際耕作的田地，所以在灌溉管理操作上恐有疏漏之處。未來相關計畫研究之推行最好能配合大區域的栽培爲目標，並推廣給農民水稻深水灌溉的概念，相信對於未來水田面積減少，在生產供給面的維持還是可以有穩定的水準。

3. 因應加入WTO後，歐美等國外大量低價米傾銷，國內水稻灌溉管理方式勢必有所改變。研究國外米價能如此低廉的原因，主要是農田規模相當大，機械及灌溉管理效率相當的高。若能搭配深水灌溉有機良質米及擴大農田規模兩方案，既可大幅減少耕種成本，也能提高稻米品質與價格。如此，WTO對國內稻農的衝擊必能降到最低。

4. 本研究提倡之深水灌溉主要目的，是爲了減少包括農、工、民生各種標的用水短缺的情況。而日本方面提高灌溉水深的目的則是爲了減少水稻受寒害的影響、增加產量及促進品質的提昇。雖然本次試驗結果深水灌溉產量明顯減少，但若能與日本農業多加交流，一定可以兼顧水稻產量、品質及增加水資源利用率等多個優點，希望有關單位能重視此一問題。

5. 水稻田除了涵養地下水源、調蓄洪水、減低下游排水尖峰流量之外，其他尚

有生態及生活性功能，如淨化水質、調節微氣候等效益，應加以深入研究並予以重視。

6. 由於農業產值較低，乾旱時期往往是釋出水源的一方，更別提要其他標的支援，故如能利用極少水量灌溉大面積的方法，一方面能不影響農作物收成，另一方面甚至可以支援其他標的的用水。

7. 任何節水灌溉的方法，皆會使土地漸漸鹽鹼化，對於農業之永續生存而言是一大傷害，需要更多的水加以淋洗才能加以回復，不宜經常使用。

陸、參考文獻

張建勛。1970。臺灣之水稻灌溉。水資會，臺北市。

臺灣之水稻灌溉。1970。中國農村復興聯合委員會水利工程組及國立臺灣大學農學院農業工程學系，臺北市。

臺灣之水稻灌溉。1970。水資會，臺北市。

盛澄淵。1971。肥料學。

莊精鋭。1971。灌溉管理。

汪呈因。1974。稻作學與米。

施嘉昌。1976。水稻清、濁水淹浸損失試驗研究總報告。

陳買。1977。水稻栽培灌溉排水管理。

張正賢。1988。稻作學精要。

星川清親。1994。水稻增收技術，家之協光會。

吳富春、許銘熙。1995。水稻田之生態與環境。農工學報。

甘俊二、張煜權。1995。三生水田利用。農工學報。

吳淑麗。1996。水田對三生功能效益估算模式之研究。

施嘉昌、徐玉標、曹以松、甘俊二。1996年。灌溉排水原理。

中國農業工程學會。1996年。超量灌溉對環境影響之研究。

林啓超。1997。水田灌溉用水之迴歸利用。

農工學報。1997。永續農業一三生水田灌溉之芻議。

游文俊。1998年。日本農業政策對水稻田經營規模之影響。淡江大學日本研究所碩士論文。

水稻灌溉用水。1998年。農田水利教材一水田灌溉。

水稻栽培。1998年。農田水利教材一水田灌溉。

湯松義。1999。灌溉排水實習手冊。

湯松義、謝騰輝。2000。水稻栽培新技術之探討。

詹錢登、周乃昉、蔡長泰。2000。水稻田地下水涵養及調蓄洪水功能評估。東亞2000雨水儲蓄利用研討會論文集。嘉南地區農業用水他用之研究。

黃昱舜。2001。水田深水灌溉可行性之研究。

經濟部水資源局。2001。岡山地區農業節水方案之擬定。

Deep-water Irrigation and Water Management During Drying Period in Rice

Chun-E. Kan
Department of Bio-environmental System Engineer, National Taiwan University, Taipei, Taiwan (ROC)

Abstract

As the development of new water sources in Taiwan is becoming more difficult in recent years, while the demand for non-agricultural water sectors is increasing rapidly, the availability of water resources is thus becoming insufficient. In order to make more efficient use of the limited water resources, a deep-water irrigation system, which can be applied under current irrigation and drainage ditches, is proposed in this study. We also discuss the way to allocate agricultural water during the drought season in this study.

Key words: Deep-water irrigation.

農業氣象及農業水資源之應用與管理
水分管理對水稻生育及米質之影響
115-130, 2002

10 水分管理對水稻生育及米質之影響

陳世雄[1]、李健捀[2]
[1]國立中興大學農藝學系
[2]行政院農業委員會臺中區農改場作物改良課
E-mail:sschen@dragon.nchu.edu.tw

摘要 -- 116
壹、前言 -- 116
貳、土壤水分與及養分有效性之關係 ------------------ 117
參、水分管理對水稻生育之影響 -------------------- 118
肆、控制土壤氧化還原電位對水稻生育之影響 ----------- 124
伍、水分管理對稻米品質之影響 -------------------- 125
陸、引用文獻 ---------------------------------- 128
英文摘要 -- 130

10 水分管理對水稻生育及米質之影響

陳世雄[1]、李健捀[2]
[1]國立中興大學農藝學系
[2]行政院農業委員會臺中區農改場作物改良課
E-mail:sschen@dragon.nchu.edu.tw

摘要

本研究一系列田間試驗結果顯示，適度減少灌溉水，提高土壤水分張力至0.01 MPa，可以提昇土壤氧化還原電位，有助於提昇水稻幼苗根活性及乾物質累積速率。若於高張力提早晒田後，適量補量磷肥，有助於提高根活性，增加分櫱數，增加稻穀產量18%。營養生長期提昇灌溉起點之土壤水分張力至0.02 MPa，對臺中秈10號並未造成產量降低，但臺中189號產量顯著降低25%，顯示品種間對乾旱忍受性有相當大之差異。建議在容易缺水地區，推廣適當品種種植，可以獲得較高之灌溉水利用效率。穀粒充實期可施以間歇性灌溉，一期作以0.018 MPa，二期作提高至0.027 MPa做爲灌溉地點，可以獲得最高產量。

關鍵詞：水稻、土壤、水分張力、氧化還原電位、土壤水分管理。

壹、前言

水資源的有效利用攸關人類生存與發展。我們生存的地球外觀是個水藍色的多水星球，但其中97%是不能直接利用的海水。如果將地球設法抹平，地面上將會多出2,700公尺高的海水。如果將海水蒸發掉，剩下的是12公尺高的鹽。地球的淡水只佔3%，其中冰雪又佔了70%，地下水佔30%，剩下0.25%才是可用的湖泊河川淡水，多數地方需要靠降雨補充。臺灣得天獨厚，每年有890億噸的降雨量，這是世界平均的2.5倍，但是由於人口密度太高，每人分配到的雨水量比沙烏地阿拉伯還少。爲了滿足國人的需求，每年還要超抽23億公噸的地下水，佔全部用水量的九分之一。目前全世界60億人口當中，有將近20億人飲用不乾淨的水。全世界水源只有10%爲民生用水，20%爲工業用水，農業灌溉用水則佔70%。我們不免懷疑，這其中是不是可能有浪費與不合理的使用。一般植物每形成一公克乾物質需500公克水分，但水稻卻需要1,000公克的灌溉水，才能形成同量的乾物質。顯示在慣行的湛水灌溉過程，由於大量蒸發與滲漏，形成水稻較低的水分利用效率。事實上，水稻慣行的湛水栽培，除了有抑制雜草及硝化作用

外，並沒有其他好處。長期湛水處理，除浪費大量水資源，導致植株軟弱，容易倒伏外，也容易因還原狀態下，毒害物質累積，而對水稻根系環境造成不利的影響。近年來由於工業及民生用水劇增，加上降雨量不足，造成農業灌溉用水嚴重缺乏。如何管理土壤水分，使水稻得以在適當通氣的根系環境下生長，並進一步探討節省灌溉水的可行方法，以降低生產成本，是臺灣農業的重要課題。

貳、土壤水分與及養分有效性之關係

土壤通氣狀況的評估指標，在旱田是土壤氧氣濃度；在浸水土壤則是土壤氧化還原電位。影響旱田作物根系呼吸主要在於土壤孔隙中之氧氣含量。土壤浸水後，氧氣迅速被土壤微生物消耗殆盡，且氧氣在水中之擴散速率較在空氣中慢千倍以上，使得浸水土壤之通氣成爲重大限制。水稻等水生作物，由於存有通氣組織，不太需要直接利用土壤溶液中之氧氣。但滲漏較快、通氣較佳的土壤，氧化還原電位較高，土壤通氣情況良好，其土壤環境與排水通氣不良、氧化還原電位低的土壤截然不同。稻田在排水通氣狀態，土壤有充分的氧氣供給作物根部呼吸，微生物可利用氧氣行呼吸作用，分解土壤中的有機質，此時土壤是處於氧化狀態。但在湛水狀態下，氧氣進入土壤的量減少，無法提供充足氧氣，做爲微生物呼吸作用電子的接受者。轉而由NO_3^-、Mn_4^+、Fe_3^+、SO_4^{2-}及CO_2替代做爲電子接受者，此等物質陸續依序被還原(圖1)，使得湛水土壤轉變成還原狀態(Ponnamperuma, 1985)。土壤氧化還原狀態與養分有效性及土壤肥力有關。土壤肥力指土壤提供作物生長所需養分之能係力，此能力大小仰賴土壤所含作物需要養分之量，其有效性能否應付作物需求，以及養分間之比例及均衡性而定(Reddy and Patrick,1986)。土壤溶液藉由整體流動(mass flow)及擴散(diffusion)，持續供應養分到作物根表面的能力，則視作物之養分需求、存在可以利用的離子成分、毒害物質及干擾養分吸收因子而定。水稻栽培期間，土壤長時間處於水分飽和或湛水狀態，此種栽培方式不但消耗大量灌溉水，也阻礙土壤通氣(王，1974；Rahman and Yoshida, 1985)，使得土壤還原電位降低(張，1984；Aomine, 1962；Patrick and Mahapatra, 1968)。土壤氧化還原電位低於-150mV，SO_4^{2-}被還原後，如果土壤中沒有足夠的鐵，就有可能形成硫化氫，而形成所謂的秋落田。高度還原土壤造成毒害物質的累積(Ponnamperuma *et al.*, 1955)，足以影響水稻的根活性及養分吸收(陳，1992)。減少灌溉使土壤暫時乾燥，可以有效改善土壤通氣，但也可能導致土壤穿刺阻力增加，水稻根系伸展受阻(陳，1992；Baver *et al.*, 1972；Thangaraj *et al.*, 1990)。此外，由於土壤氧化還原電位的提昇，對氮素的有效性、磷的固定都可能造成影響，而影響水稻之生長及發育(黃，1984；陳，1992)。如果因爲減少灌溉水，導致水分吸收不足，將造成葉片水分潛勢、氣孔導度及光合作用降低(Culter *et al.*, 1980；Dingkuhn *et al.*, 1989；Hsiao *et al.*, 1984；O'Toole and Cruz, 1980)，使得光合產物減少，不利於水稻生育。

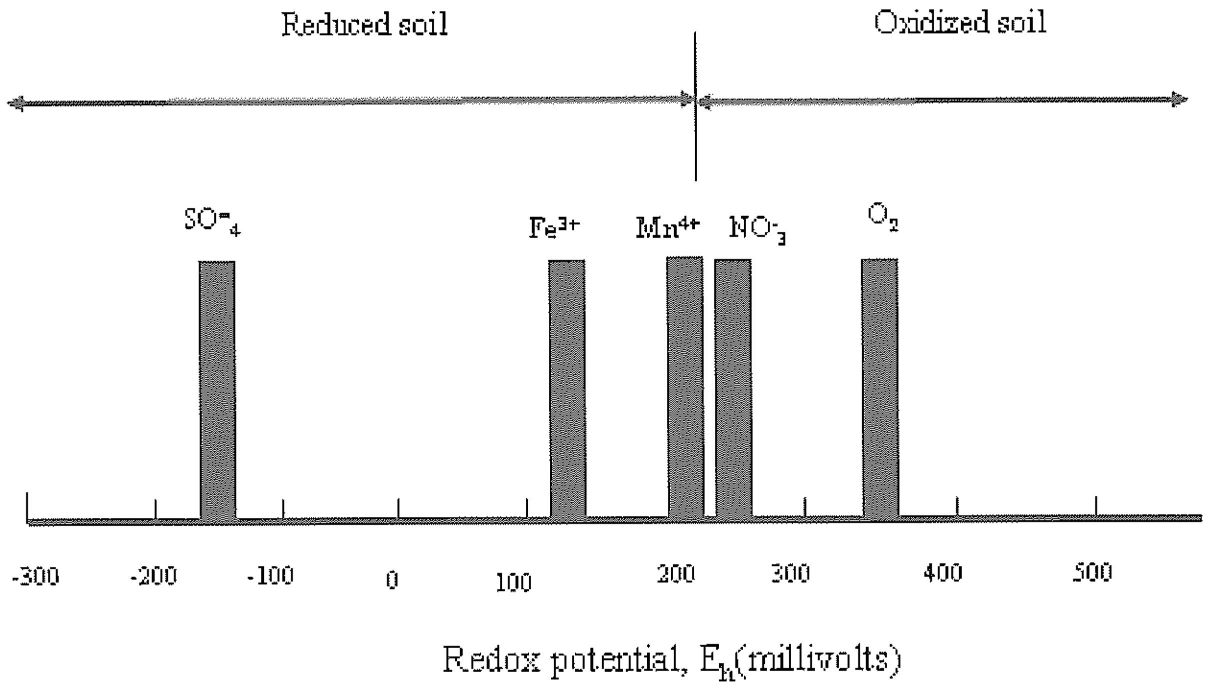


Fig.1. Relation of soil redox potential and order of elements reduced.

參、水分管理對水稻生育之影響

一、土壤水分張力對水稻幼苗生育之影響

傳統觀念認為水稻幼苗不能遭遇乾旱，必需湛水栽培。事實上，適度提昇幼苗期土壤水分張力，改善根系環境通氣，不但有助於提高根活性，也可以促使稻株強健。陳等(1996)探討高土壤水分張力處理，對不同品種水稻幼苗根活性及生育之影響。以0.01 MPa水分張力處理盆栽水稻幼苗，並以湛水處理為對照。水稻品種包括粳稻臺中189號、臺農67號、及秈稻臺秈育368號、臺中秈10號等四個品種。試驗結果顯示，0.01MPa之高土壤水分張力較湛水可以提高水稻幼苗根活性65%。秈稻較粳稻有較高的根活性，秈稻在種植後17天之根活性，0.01 MPa高土壤水分張力與湛水處理，分別較粳稻高出15及28%。種植第23天後，根活性急速降低。0.01 MPa土壤水分張力處理，顯著提昇種植17天秈稻之地上部乾重，由每株平均54 mg增加至64 mg，粳稻則沒有顯著差異(圖2)。0.01 MPa水分張力處理也顯著提高臺中秈10號及臺中189號根之乾重(圖2)。臺秈育368號在浸水處理顯示最高的根活性(19.91A g^{-1} dw root)及乾物累積速率(5.67 mg $plant^{-1}$ day^{-1})，其乾物累積速率較臺中189號之2.73 mg $plant^{-1}$ day^{-1}高出一倍以上。在高水分張力(0.01 MPa)處理，則以臺農67號乾物累積速率最高。高水分張力處理顯著提昇臺中189號之根活性，因而提高其乾物累積速率。整體而言，秧苗期適度的排水至0.01 MPa土壤水分張力，改善土壤通氣，對水稻根活性及植株生長皆有助益。

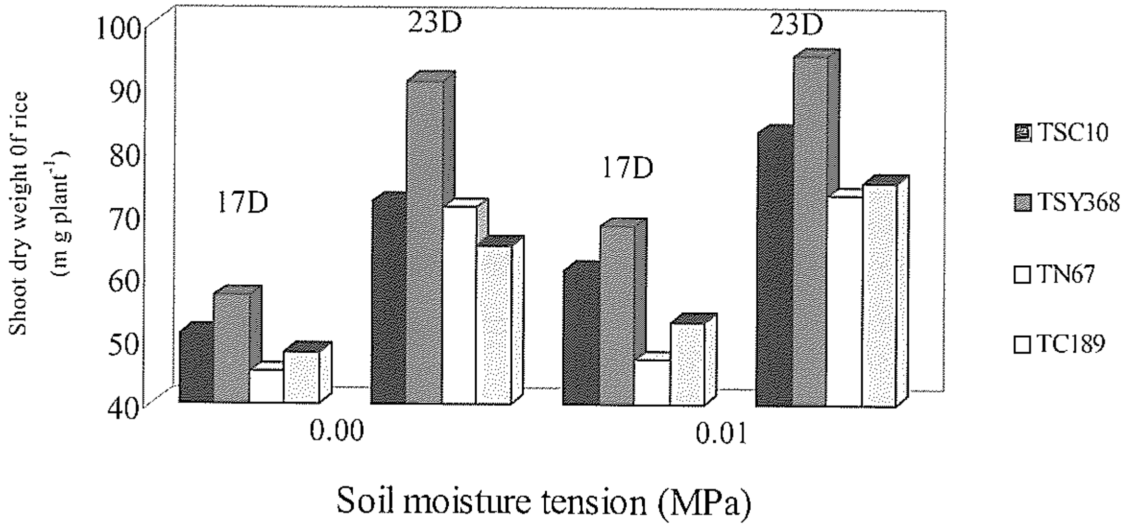


Fig.2. Shoot dry weight (g plant^{-1}) of rice cultivars Taichung Sen 10 (TCS 10), Tai Sen Yu 368 (TSY 368), Tainung 67 (TN67), and Taichung 189 (TC189), as affected by soil moisture tension (0 and 0.01 MPa) at 17 and 23 days after planting (fall crop, 1994)

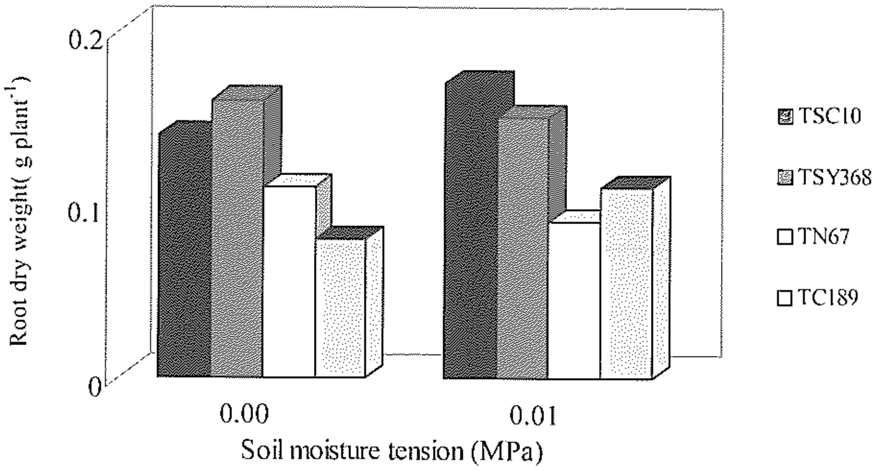


Fig.3. Root dry weight (g plant^{-1}) of rice cultivars Taichung Sen 10 (TCS 10), Tai Sen Yu 368 (TSY 368), Tainung 67 (TN67), and Taichung 189 (TC189), as affected by soil moisture tension (0 and 0.01 MPa) at 23 days after planting (2nd crop, 1994)

二、分蘗期晒田對水稻生育之影響

晒田用意在阻斷水稻養分吸收，抑制無效分蘗，一般晒田處理常在分蘗盛期後施行。但由停止灌溉開始晒田，至乾旱達到阻斷抑制效果，往往需要一週以上時間。在此期間往往又長出許多無效分蘗，顯然有必要提早晒田。特別是在排水不良，通氣不足土壤。陳(1991)以臺農67號及臺農70號兩個品種，分別提早在4本分蘗及

10本分櫱期晒田，以連續浸水爲對照。晒田後並分別以不施、加施一倍及兩倍磷肥處理。試驗結果顯示，提早於4本分櫱期晒田至土壤水分張力達0.08 MPa後，土壤還原電位提高380 mV以上，土壤穿刺阻力由對照(浸水)區之43 kg cm^{-2}增加至58 kg cm^{-2}，根的伸展受到抑制，根長減少64-73%。但根徑加粗，分支根大量增加。晒田後土壤抽出液氮含量降低50%，磷之有效性降低90%，鉀則不受影響。抽穗期水稻劍葉氮及鉀的濃度並不因晒田而降低，但磷濃度則因高張力晒田降低33%，分櫱數亦由對照之平均18株減少爲12株。晒田後增施磷肥，可以提高稻根活性，增加葉片磷濃度，分櫱數由12株增加至15株。推測晒田抑制水稻分櫱過程中，土壤穿刺阻力昇高造成之根部發展及吸收受阻；以及土壤有效性磷濃度降低，造成水稻磷的吸收受到抑制，都是可能的重要機制。臺農67號水稻根活性較臺農70號爲弱，不適合通氣不良之低還原電位。提早在10本分櫱期晒田可以有效改善臺農67號根系環境之通氣，提高根活性，增加稻穀產量18%(表1)。

三、營養生長期水分管理對水稻生育之影響

水稻在營養生長期間，主要進行分櫱的產生以及植體的生長。Kawata et al. (1980)指出，水稻在長期湛水及間斷灌水栽培下，其冠根數以長期湛水栽培最多，分支根則以間斷灌水栽培較多。Thangaraj et al. (1990)以盆栽試驗持續排水16天後，0

Table 1. Agronomic characteristics of rice cultivars Tainung 67 and Tainung 70 measured at harvest as affected by soil-drying experiment. (1st crop, 1990)

Soil-drying started at stage of tiller no.*	Cultivar	Tiller / plant Total	Tiller / plant Effective	Plant height	Panicle dry wt.	Grain Yield
				cm	g/plant	t/ha
4	Tainung67	21.0a	11.0b	91b	20.0b	3.21b
	Tainung70	18.9a	7.9c	91b	13.1c	2.09c
10	Tainung67	19.2a	13.2b	95b	22.4b	3.59b
	Tainung70	22.5a	12.0b	96b	19.0b	3.03b
Control	Tainung67	21.0a	12.4b	105a	19.0b	3.04b
	Tainung70	23.0a	19.0a	104a	27.2a	4.35a

*Soil-drying treatments at 4- and 10-tiller stages were at 28 and 37 days after transplanting, respectively.

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at α=0.05 by Duncan's MRT.

Table 2. Agronomic characteristics and yield components of rice cultivars Taichung 189 and Taichung Sen 10 as affected by soil moisture regime during vegetative growth stage (1st crop, 1992)

Cultivar	Soil moisture tension	Panicle number	Kernels /panicle	1000-kernel weight	Seed setting	Yield
	MPa			g	%	kg/ha
	0.00	11.6a	154a	22.7d	90.0b	3304a
TC 189	0.02	9.2b	147a	25.2b	95.7a	2487b
	0.04	8.2c	143ab	23.6c	93.4a	2279b
	0.00	11.5a	152a	25.0b	88.7b	3233a
TCS 10	0.02	9.9b	122c	26.6a	89.5b	2670b
	0.04	9.8b	130bc	26.4a	90.5b	2676b

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at α=0.05 by Duncan's MRT.

Table 3. Agronomic characteristics and yield components of rice cultivars Taichung 189 and Taichung Sen 10 as affected by soil moisture regime during vegetative growth stage. (2nd crop, 1992)

Cultivar	Soil moisture tension	Panicle number	Kernels /panicle	1000-kernel weight	Seed setting	Yield
	Mpa			g	%	kg/ha
TC189	0.00	12.8a	121a	24.9b	89.4b	3481a
	0.02	7.9d	130a	25.6ab	93.5a	2582b
	0.04	8.2cd	138a	26.5a	94.5a	2529b
TCS10	0.00	11.1b	142a	25.8ab	87.9b	3610a
	0.02	9.5c	140a	26.4a	89.3b	3584a
	0.04	9.0cd	127a	26.3a	91.3ab	3330a

～20公分土層穿刺阻力增加至2.5MPa，使得稻根生長減少47%。李等(1996) 在水稻營養生長期(一期作從插秧後第14天，二期作從插秧後第7天開始處理)提高15公分深土壤水分張力至0.02及0.04MPa，使得一期作臺中189號之穗數顯著降低20.7~29.3%，臺中秈10號降低13.9~14.8% (表2)；二期作臺中189號之穗數亦顯著降低35.9~38.3%，臺中秈10號則降低14.4~18.9% (表2)。因穗數降低，導致一期作臺中189號之稻穀產量顯著降低25%(0.02 MPa之處理)及31% (0.04 MPa)，臺中秈10號則兩個高水分張力處理產量均降低17% (表2)。二期作臺中189號在0.02及0.04 MPa之處理，產量大幅降低27%。臺中秈10號則在較高土壤水分張力處理，並未造成產量降低 (表3)。試驗結果顯示，臺中秈10號可以適應土壤水分逆境在較高之土壤水分張力下，仍有不錯之產量表現。

四、生殖生長期水分管理對水稻生育之影響

水稻生殖生長期可分爲幼穗分化期及抽穗期，此二時期對水分逆境反應最爲敏感。稻之幼穗形成期是穎花分化及一穗粒數決定的時期，此一時期環境因素的改變，將影響產量構成要素之一穗粒數及稔實率。Ofelia and O'Toole (1986) 指出，在花粉形成期間因水分逆境引起稔實率降低，是導致產量降低的主要原因。在減數分裂期間以不同程度的水分逆境處理，稔實率隨著劍葉水分潛勢降低而直線下降。葉片水分潛勢在-1.1MPa (對照組)時稔實率爲80%，當葉片水分潛勢降低至-3.5 MPa時，稔實率降低至50%，對產量有顯著不良的影響。經進一步分析花粉母細胞減數分裂過程，在水分逆境下有較多不正常的染色體發生，以及未成熟、白色的小穗發生，萎縮小穗的數目隨著葉片水分潛勢的降低而增加。稻之抽穗期包括穗軸抽出、外內穎開啓及授粉等過程，此時期與產量構成要素之稔實率有關。Cruz and O'Toole (1984)以最大蒸發散量做爲稻株需水的指標，在開花期間當蒸發散量低於最大蒸發散量30%以上時，即土壤中水分不足最大蒸發散量30%以上時，產量即呈直線遞減，產量降低的原因爲稔實率下降所致。在抽穗期間，葉片水分潛勢與穗軸抽出葉鞘的抽出度，有顯著的直線關係。平均約有30%的不稔率，是由於穗包覆在葉鞘中，不能抽出所致。故在抽穗期，當水分供應不足植株所需時，由於不稔實率增加以及穗抽出困難，造成稔實率降低，對產量有鉅大的影響。

水稻穀粒充實期是光合產物急速累積的時期，此期間缺水對於產量構成要素之稔實率及千粒重，會有重大的影響。影響穀粒充實的因子，爲光合產物累積速率及累積期間的長短。Rahman and Yoshida (1985)在開花後第三天起，分別以田間容水量100%、75%及50%之土壤水分處理，維持至成熟期結束。結果當土壤水分降低至田間容水量50% 時，產量明顯降低16～20%。造成產量降低的主要原因，爲穀粒的充實速率降低所致，對穀粒充實期間的長短則沒有影響。此外，莖及葉鞘於開花前貯存的光合產物， 在缺水而光合作用受限時，可提供作爲穀粒充實的供源(Source)，扮演重要的角色。李等(1993) 在水稻齊穗後提高土壤水分張力(0.02及0.04 MPa)，對於水稻產量並無降低之趨勢(表4、5)，進一步經由多項式迴歸分析，顯示

Table 4. Agronomic characteristics and yield components of rice cultivars Taichung 189 and Taichung sen 10 as affected by soil moisture regime during grain filling stage. (1st crop, 1992)

Cultivar	Soil moisture tension	Plant height	Growth duration	Panicle weight	Panicle number	Kernels /panicle	1000- kernel weight	Seed setting	Yield
	MPa	cm	day	g			g	%	kg/ha
	0.00	124a	120a	3.5a	12.9a	145a	24.6b	93.2a	3431a
TC 189	0.02	128a	122a	3.3a	12.0a	153a	22.9c	91.0ab	3581a
	0.04	127a	122a	3.3a	12.3a	152a	23.2c	89.1bc	3363a
	0.00	112b	120a	3.6a	12.5a	146a	26.0a	88.5bc	3362a
TCS 10	0.02	111b	122a	3.7a	13.2a	151a	26.2a	88.0c	3408a
	0.04	113b	121a	3.6a	11.1a	147a	26.3a	87.2c	3293a

Table 5. Agronomic characteristics and yield components of rice cultivars Taichung 189 and Taichung sen 10 as affected by soil moisture regime during grain filling stage. (2nd crop, 1992)

Cultivars	Soil moisture tension	Plant height	Growth duration	Panicle weight	Panicle number	Kernels /panicle	1000- kernel weight	Seed setting	Yield
	MPa	cm	day	g			g	%	kg/ha
	0.00	112a	125a	3.1a	13.0a	137a	24.3a	83.1b	3350c
TC 189	0.02	110b	125a	3.3a	12.8a	138a	24.5a	89.3a	3550bc
	0.04	110b	125a	3.3a	13.0a	138a	25.1a	91.0a	3409bc
	0.00	99c	119a	3.4a	12.9a	143a	24.9a	86.7a	3782ab
TCS 10	0.02	100c	119a	3.5a	12.5a	147a	25.0a	90.5a	4041a
	0.04	98c	119a	3.4a	12.8a	141a	25.1a	88.0a	3996a

在穀粒充實期，適當減少灌溉水，一期作提高土壤水分張力至0.018 MPa，二期作則提高至0.027 MPa做爲灌溉起點，可以得到最高的產量(表6)。顯示在不造成水稻水分逆境情況下，適度提昇土壤水分張力，改善土壤通氣，並不致於造成水份產量降低。由二期作最適土壤水分張力高於一期作，也顯示二期作臺灣稻田土壤通氣不良的情況，較一期作嚴重，需要較高的土壤張力改善土壤通氣。

Table 6. Polynomial regression analysis for yield of rice cultivars Taichung 189 and Taichung sen 10 on soil moisture tension during grain filling stage (1st and 2nd crops, 1992)

Crop season	Cultivar	Polynomial regression equation				Optimum soil moisture tension
		a	bx	cx^2	R^2	
						MPa
First	TC 189	3431	16700	-460000	0.3068	0.0182
	TCS 10	3362	6325	-201250	0.0716	0.0157
Second	TC 189	3350	18525	-426250	0.1742	0.0217
	TCS 10	3782	20550	-380000	0.2911	0.0270

上述結果也顯示水稻在不同的生長階段，根系的發展及植株的型態均有差異，對水分的需求及吸收水分的能力必然也不一樣。因此欲瞭解水稻生長對水分之需求，則必須針對水稻不同生育時期，分階段進行探討，方能獲得合理之稻田水分管理方法。

肆、控制土壤氧化還原電位對水稻生育之影響

土壤水分及空氣變化影響稻田土壤物理化學性質最重要者，爲土壤氧化還原電位(圖1)，若能直接以白金電極監控土壤氧化電位，更有助於瞭解土壤水分及通氣管理對水稻生育之影響。陳(1992)利用浸水及排水時間長短控制土壤氧化還原電位。兩個品種(臺農67號及臺農70號)分別以三個還原電位範圍(-300~0，-200~+100及-100~+300mv)處理。試驗結果顯示，兩個品種對土壤還原電位的反應不一致。臺農67號根活性較弱，在低還原電位處理(-300~0 mV)每公克稻根只有3.5A(吸光度)，在較適中之還原電位(-200~+100 mV)範圍，根系環境通氣良好，可以提高根活性至17.7A，因而得到較高之產量。臺農70號根活性較強，即使在較低之還原電位，由於磷的有效性及銨態氮的濃度較高，生育較好，反而得到較高產量。兩個品種在較高之還原電位(-100~+300 mV)處理，可能由於土壤溶液中氮及磷的有效性降低，影響養分的吸收，光合作用速率下降，產量因而低下，爲三個還原電位處理最低者。臺農70號在低還原電位處理，抽穗期光合作用速率爲14 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}，較在高還原電位8 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}高，可能與在低還原電位下水稻吸收氮素較多有關。臺農67號在低還原電位處理下，光合作用速率較高爲13 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}，但收穫指數只有45%，產量較低，每株只有12.5g。在中度還原電位處理者，光合作用速率爲12 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}，由於收穫指數高達51%，產量爲每株20.6 g (表7)，顯示在不同土壤還原電位下，可能造成水稻光合產物分配之差異，是影響產量的一個重要因素。

Table 7. Yield and agronomic performance of rice cultivars Tainung 67and Tainung 70 as affected by soil redox potential. (1st crop, 1991)

Cultivar	Soil redox potential*	1000kernels weight	Grain yield	Harvest index	Seed setting
		g	g/plant	%	%
Tainung67	Low	20a	12.5bcd	45b	85b
	Medium	21a	20.6a	51a	91a
	High	20a	13.1bcd	47ab	90ab
Tainung70	Low	22a	17.7ab	46b	82c
	Medium	21a	15.8abc	47ab	89ab
	High	23a	10.6b	49ab	91a

* Low: Range of soil redox potential between —300 and 0 mv.

Medium: Range of soil redox potential between —200 and +100 mv.

High: Range of soil redox potential between —100 and +300 mv.

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at α=0.05 by Duncan's MRT.

伍、水分管理對稻米品質之影響

影響稻米品質的因子相當多。在生產階段包括品種、氣候、土壤、期作、栽培、病蟲害防治及收穫調製等。在收穫後調製階段則包括乾燥、貯藏及碾米方法。此外，在消費階段包括米的浸漬時間、炊飯量及煮飯方式等，均會影響米飯的品質。這其中除氣候條件無法以人爲改變外，其餘均可依人爲改變做適當的調整及處理，以栽培或調製方法改變對水稻生育及稻米品質之影響。稻米品質，包括碾米品質、白米外觀及食用與烹調品質。碾米品質包括糙米率(brown rice)、白米率(milled rice)及完整米率(head rice)，其值愈高愈好。白米外觀包括透明度(translucency)及心腹白(white belly)，其値愈低愈好。食用與烹調品質則希望直鏈澱粉(amylose)及粗蛋白質(crude protein)含量愈低，凝膠展延性(gel consistency)愈高(宋等，1991)，預期有較好的米質。國內中部地區一期作一般於插秧後45天開始進行晒田(斷水)處理，二期作則約於插秧後35天開始。李等(1996)將一二期作晒田時間分別提早5及10天，結果顯示一期作提早斷水晒田，其直鏈澱粉與蛋白質含量亦有降低之趨勢，有助於稻米品質之提昇(表8)。二期作提早進行斷水晒田，可以有效提高完整米率，提高白米之商品價値(表9)。兩期

Table 8. The milling quality and chemical property of rice cultivars Tainung 67, Taichung Sen 10, and Taichung 189 as affected by early intermittent drying during vegetative growth stage. (1st crop, 1994)

Cultivar	Days to drying*	Brown rice	Milled rice	Head rice	Trans-lucency	White center	White belly	Amylose	Crude protein	Gelconsis-tency
	day	%	%	%				%	%	
	30	81.4b	72.5bc	63.6b	3.5	0	2	16.0c	6.55d	86S
TN67	40	82.0a	73.4a	55.2d	3.5	0	3	16.3bc	6.49d	85S
	45(CK)	81.6ab	73.6a	67.3a	3.5	1	2	17.6a	6.69cd	87S
	30	80.8c	72.2c	59.0c	3	0	0	16.9b	6.65d	79S
TC189	40	81.7ab	73.3ab	43.8e	3	0	1	15.6d	7.05b	85S
	45(CK)	81.6ab	73.2ab	64.0b	3	0	1	16.8b	7.00b	91S
	30	78.4d	69.5d	65.6ab	3	0	0	16.4bc	6.78bcd	84S
TCS10	40	78.6d	69.5d	65.4ab	3	0	0	16.7b	6.98bc	77S
	45(CK)	78.7d	69.5d	65.0ab	3	0	1	16.3bc	7.36a	84S

*: Days from transplanting to intermittent soil drying.

Table 9. The milling quality and chemical property of rice cultivars Tainung 67, Taichung Sen 10, and Taichung 189 as affected by early intermittent drying during vegetative growth stage. (2nd crop, 1993)

Cultivar	Days to drying*	Brown rice	Milled rice	Head rice	Trans-lucency	White center	White belly	Amylose	Crude protein	Gelconsis-tency
	day	%	%	%				%	%	
	20	82.5a	75.3a	69.7abc	3	0	2	17.9a	8.65cd	93S
TN67	25	82.3a	75.6a	70.7a	3	0	2	17.6ab	8.42cd	98S
	35(CK)	81.7b	74.8ab	66.1cd	3.5	0	2	17.4abc	8.71bc	95S
	20	81.3b	74.2b	69.8ab	3	0	0	17.5ab	8.27d	95S
TC189	25	81.4b	74.3b	68.8abc	3	0	0	17.3abc	8.55cd	92S
	35(CK)	81.8b	74.8ab	65.6d	3	0	1	17.9a	8.62cd	94S
	20	78.9c	71.6c	66.8bcd	3	0	0	17.2bc	8.944cd	92S
TCS10	25	78.8c	71.9c	67.0bcd	3	0	0	17.1bc	9.10a	87S
	35(CK)	79.3c	72.1c	65.4d	3	0	0	16.9c	9.02ab	86S

作提早進行斷水晒田，均可以有效增加白米外觀之透明度，及降低心腹白，因此有助於提昇白米之外觀品質(表8、9)。

水稻齊穗後植株上部葉片，爲主要進行光合作用，生產碳水化合物的部位，需仰賴充足的水分輸送轉存至穀粒，使穀粒飽滿。故此一時期又稱爲灌漿期，仍應充分灌溉至抽穗後第18天爲止。然須視水稻齊穗後的植株型態色澤而定。若水稻齊穗後植株葉色過於濃綠軟弱，表示水稻已吸收過量氮肥，如再給予湛水管理，則水稻生育後期可能倒伏，病蟲害也較容易發生，同時米粒因吸收太多氮肥，蛋白質含量太高，會降低其食味品質。所以水稻齊穗後，植株葉色仍過於濃綠時，不宜採用湛水管理。應該採用乾濕交替輪灌方式，可促進硝化作用之進行，有效降低土壤中氮素含量，使水稻減緩對氮素的吸收，提升稻米食味品質。小葉及高見(1981)指出在開花後第一天至第十天之間，以劍葉相對水分含量95~97%處理，使得處理區由植株在開花前所貯存的光合產物轉移至穀粒者佔穀粒乾物質重量25.6%，而對照區只佔14.6%。李等(1993) 在水稻齊穗後提高土壤水分張力至0.02及0.04 MPa，結果顯示在穀粒充實期，提高土壤水分張力，對於水稻之碾米品質、白米外觀、烹調及食用品質均不會產生影響。臺中秈10號一期作在高土壤水分張力處理下，米飯食味及總評優於對照之處理(表10)，二期作臺中秈10號在較高土壤水分張力下，米飯食味品評項目中之外觀、香氣亦不亞於對照之處理(表11)。

Table 10. Eating quality* of cooked rice (cultivars Taichung 189 and Taichung Sen 10) as affected by soil moisture regime during grain filling stage. (1st crop, 1992)

Cultivar	Soil moisture tension	Appearance	Flavor	Taste	Stickiness	Hardness	Overall
	MPa						
	0.00	-1.143c	-0.286ab	-1.000ab	-1.000ab	+0.571a	-1.000ab
TC 189	0.02	-1.174d	-0.714b	-1.571c	-1.571b	+0.587a	-1.571b
	0.04	-1.000b	-0.571ab	-1.286bc	-1.000ab	+1.000a	-1.286ab
	0.00	-0.500ab	0.000ab	-0.667ab	-0.500a	+0.333a	-0.667a
TCS 10	0.02	-0.667ab	-0.167ab	-0.500a	-0.500a	+0.500a	-0.500a
	0.04	-0.333a	-0.167ab	-0.333a	-0.333a	+0.333a	-0.333a

* Rating evaluated by sense of panel testing in comparison with rice cultivar Taichung 189 cultivated in Tien-chung, Chang-Hwa county, as the control. Where +, 0, and - denote ratings higher, equal to, and lower than the control, respectively.

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at α=0.10 by Wilcoxon signed-rank test.

Table 11. Eating quality* of cooked rice (cultivars Taichung 189 and Taichung Sen 10) as affected by soil moisture regime during grain filling stage. (2nd crop, 1992)

Cultivar	Soil moisture tension	Appearance	Flavor	Taste	Stickiness	Hardness	Overall
	MPa						
	0.00	-0.134b	-0.072a	-0.072a	-0.072a	+0.063a	-0.072a
TC 189	0.02	-0.167b	-0.250a	-0.250a	-0.333a	+0.083a	-0.334a
	0.04	-0.084a	-0.084a	-0.250a	-0.333a	+1.334a	-0.250a
	0.00	+0.197a	+0.063a	-0.009a	-0.134a	+0.161a	-0.009a
TCS 10	0.02	+0.473a	+0.063a	-0.072a	-0.063a	+0.402a	-0.072a
	0.04	+0.277a	+0.063a	-0.134a	-0.259a	+0.348a	-0.197a

* Rating evaluated by sense of panel testing in comparison with rice cultivar Taichung 189 cultivated in Tien-chung, Chang-Hwa county, as the control. Where +, 0, and - denote ratings higher, equal to, and lower than the control, respectively.

陸、參考文獻

小葉田亨、高見晋一。1981。登熟初期の水ストレスがイネの穀實生長，乾物分配および玄米收量に及ぼす影響。日作紀50(4): 536-545。

王敏昭。1974。土壤通氣對水稻生長的影響。國立中興大學碩士論文。

張英勝 1984 水稻田還原電位的變異及管理。國立中興大學碩士論文。

黃明輝。1984。稻田土壤還原電位之檢定及用於水分管理之研究。中華農業研究 33(3): 265-275。

宋勳、洪梅珠、許愛娜。1991。臺灣稻米品質之研究。p.8。臺中區農業改良場特刊第24號。

陳世雄。1991。晒田對水稻磷之吸收及分蘗之影響。中華農藝 1: 277-291。

陳世雄。1992。土壤還原電位對水稻根活性與光合作用之影響。中華農藝 2: 169-181。

李健捀、陳世雄、許愛娜、宋勳。1993。穀粒充實期土壤水分境況對水稻生育及米質之影響。臺中區農業改良場研究彙報 39:41-50。

李健捀、陳世雄。1994。營養生長期土壤水分境況對水稻生育之影響-對產量及產量構成要素之影響。臺中區農業改良場研究彙報 42:29-40。

李健捀、宋勳、陳世雄。1996。營養生長期提早斷水對稻米品質之影響。臺中區農業改良場研究彙報 51:31-39。

陳世雄、張倩玉、李健捀。1996。高土壤水分張力對水稻幼苗期根活性及生育之影響。中華農藝 6: 27-33。

Aomine, S. 1962. A review of research on redox potential of paddy soils in Japan. Soil Sci. 94: 6-13.

Baver, L. D., W. H. Gardner and W. D. Gardner. 1972. Soil Physics. John Wiley & Sons., Inc., New York, U. S. A.

Culter, J. M., K. W. Shahan and P. L. Steponkus. 1980. Alteration of the internal water relations of rice in response to drought hardening. Crop Sci. 20: 307-310.

Cruz, R.T., and J. C. O' Toole. 1984. Dryland rice response to an irrigation gradient at flowering stage. Agron. J. 76:178-183.

Dingkuhn, M., R. T. Cruz, J. C. O' Toole and K. Dorffing. 1989. Net photosynthesis, water use efficiency, leaf water potential and leaf rolling as affected by water deficit in tropical upland rice. Aust. J. Agric. Res. 40: 117-118.

Hsiao, T. C., J. C. O' Toole, E. B. Yambao and N. C. Turner. 1984. Influence of osmotic adjustment on leaf rolling and tissue death in rice (*Oryza sativa* L.). Plant Physiol. 75: 338-341.

Kawata, S. I., M. Katano and K. Yamazaki. 1980. The root system development of rice plants in the worked and sub-soils of an actual paddy field. Jap. J. Crop Sci. 49:311-316.

Ofelia, S. N. and J. C. O' Toole. 1986. Reproductive stage water stress and sterility. I. Effect of stress during meiosis. Crop Sci. 26:317-321.

O'Toole, J. C. and R. T. Cruz. 1980. Response of leaf water potential, stomatal resistance, and leaf rolling to water stress. Plant Physiol. 65: 428-432.

Patrick, W. H. Jr. and I.C. Mahapatra. 1968. Transformation and availability to rice of nitrogen phosphorus in waterlogged soils. Adv. Agron. 20: 323-357.

Ponnamperuma, F. N., R. Bradfield and M. Peech. 1955. Physiological disease of rice attributable to iron toxicity. Nature. 175-265.

Ponnamperuma, F. N. 1985. Chemical kinetics of wetland rice soils relative to soil fertility. p.71-89. In: Wetland Soils：Characterization, classification, and Utilization. IRRI. ed. Los Banos, Laguna, Philippines.

Rahman, M. S. and S. Yoshida. 1985. Effect of water stress on grain filling in rice. Soil Sci. Plant Nutr. 31(4): 497-511.

Reddy, K. R. and W. H. Patrick, Jr. 1986. Denitrification losses in flooded rice fields. Fert. Res. Rev. 9:99-116.

Thangaraj, M., J. C. O' Toole and S. K. De Datta. 1990. Root response to water stress in rainfed lowland rice. Expl. Agric. 26: 287-296.

Growth and Quality of Rice as Affected by Management of Soil Moisture

Chen Shih-Shiung[1] and Lee Jiann-Feng[2]
[1] Department of Agronomy, National Chung-Hsing Univerity, Taichung, Taiwan (ROC)
[2] Taichung District Agricultural Improvement Station, COA, Chang-Hua, Taiwan (ROC)
E-mail:sschen@dragon.nchu.edu.tw

Abstracct

Results from a series of field experiments showed that reduced irrigation water for rice cultivation is feasible. During seedling stage, increased soil moisture tension to 0.01MPa enhanced soil redox potential, and thus a higher root activity and dry weight accumulation rate resulted. Supplementary phosphate fertilizer applied after 0.08 MPa intermittent drying practiced during the 10-tiller stage promoted root activity and tiller number, and thus a 18% grain yield increased. During vegetative growth stage, increased soil moisture tension to 0.02 MPa reduced 25% grain yield in rice cultivar Taichung 189, but no such effect occurred in the cultivar Taichung Sen 10. Results suggest that Taichung Sen 10 has a higher drought tolerance and water use efficiency. During grain filling stage, 0.018 MPa in the first crop and 0.027 MPa in the second crop as the irrigation starting point of soil moisture tension gave the highest grain yield.

Key words: Rice, Soil, Moisture tension, Redox potential, Soil moisture management.

11 塔塔加地區臺灣雲杉 (*Picea morrisonicola*) 光合作用之季節變化

翁仁憲[1]、廖天賜[2]、孫國筠[1]、鍾基啓[1]、林宗平[1]、徐鎭暉[1]
[1]國立中興大學生命科學系
[2]國立中興大學森林學系
E-mail: jhweng@dragon.nchu.edu.tw

摘要 ---------- 132
壹、前言 ---------- 132
貳、材料及方法 ---------- 133
參、結果 ---------- 134
肆、討論 ---------- 134
伍、參考文獻 ---------- 139
英文摘要 ---------- 142

11 塔塔加地區臺灣雲杉 (*Picea morrisonicola*) 光合作用之季節變化

翁仁憲[1]、廖天賜[2]、孫國勞[1]、鍾基啓[1]、林宗平[1]、徐鎮暉[1]
[1]國立中興大學生命科學系
[2]國立中興大學森林學系
E-mail: jhweng@dragon.nchu.edu.tw

摘要

本研究之目的在探討生長於亞熱帶亞高山地區臺灣雲杉(*Picea morrisonicola*)光合作用能力之季節變化，試驗於1998年11月至2001年5月間進行。結果顯示光合作用能力(光飽合淨光合速率，Psat)、葉綠素螢光(Fv/Fm)及可溶性蛋白質(SP)含量等在仲或暮春經夏秋至早冬期間均維持在較高之水準。其中Fv/Fm值大致與氣溫間呈曲線迴歸關係，Fv/Fm開始降低或完全恢復之關鍵日均溫約在12℃左右。Psat及SP之季節變化與Fv/Fm的變化趨勢大致相似，但入春後氣溫及Fv/Fm均已回升，但Psat及SP含量仍暫處於較低之水準。複迴歸分析結果顯示Fv/Fm與SP含量共同影響了Psat的季節變化，其迴歸方程式為：Psat = -359.04+623.88 Fv/Fm + 22.21 SP, (R^2 =0.788, P<0.01)。顯示臺灣雲杉在冬季Psat降低及在春季回復之主因，為光抑制及葉片可溶性蛋白質含量之變化所致。而Psat在春季回復遲緩之原因，為葉片可溶性蛋白質含量回升較慢使然。

關鍵詞：葉綠素螢光、針葉樹、光合作用能力、台灣雲杉、季節、可溶性蛋白質、亞高山、亞熱帶。

壹、前言

針葉樹種大多自然分布於地球上溫帶至亞極區之常綠林帶。然而，有趣的是，亞熱帶地區如臺灣的亞高山及高山亦有分布。已知在北半球約有40種針葉樹種的存在，其中的一種為臺灣雲杉(*Picea morrisonicola*) 則為臺灣特有種，分布於海拔2300-3000 m之高山上。

針葉樹之針葉常留存在枝條上經歷數年之久，因此它們需面對數次嚴寒之季節，且要維持光合作用能力，以便在氣溫回升時能正常運作。植物在冬季時之光合

作用受到抑制，常肇因於高光及低溫綜合效應，低溫使卡爾文循環之酵素活性降低而抑制了光合作用(Öquist *et al.*, 1987; Strand and Öquist, 1988)。而高光造成之光抑制之原因乃是低溫先降低了光合作用能力，使得光合系統吸收之能量傳遞受阻所致(Strand and Öquist, 1985; Öquist *et al.*, 1987; Strand and Öquist, 1988; Streb *et al.*, 1998)。光抑制可由葉綠素螢光之可變與最大量螢光比値(Fv/Fm)的降低來估算(Strand and Öquist, 1985; Bolhar-Nordenkampf *et al.*, 1988; Ottander *et al.*, 1995)。

許多報告指出，C3植物葉綠體中固定CO_2的主要酵素 RuBPC之活性隨季節而變化，且在夏季顯著高於冬季(Gezelius and Smith, 1985; Naidu and Swamy, 1995)。在數篇研究報告中之結果顯示，葉片中可溶性蛋白質之含量與RuBPC含量呈正相關(Friedrech and Haffaker, 1980; Bravdo and Pallas, 1982; Muthuchelian, 1992; Naidu and Swamy, 1995)。此外葉綠素含量亦在冬季(Ottander *et al.*, 1995)或低溫(Haldimann, 1998; Vogg *et al.*, 1998)或短日的條件下(Vogg *et al.*, 1998)減少。如此冬季光合作用能力降低的原因之一，爲葉綠素含量的減少(Vogg *et al.*, 1998)。

多位學者曾在現場測定雲杉及松樹光合作用之季節變化(Ottander and Öquist, 1991; Ottander *et al.*, 1995; Schaberg *et al.*, 1995, 1998; Strand and Lundmark, 1995; Lundmark *et al.*, 1998; Vogg *et al.*, 1998)，這些結果指出光合作用能力之改變與季節氣溫的變化有密切關係。然而，這些研究均在溫帶及亞寒帶之低地完成。但是熱帶或亞熱帶高山地區之環境條件和高緯度之低地不同，其環境因子中溫度的日變化甚於季節變化。從臺灣中央氣象局阿里山氣象站(23°31', 120°48', 2408 m)於1934-1997年間所記錄的資料觀之，最暖月之平均溫度爲14.1℃，最冷月則爲爲5.6℃，兩者之溫差僅8.5℃，呈現冬暖與夏涼之氣候，而高緯度之低地則有嚴寒之冬季。故熱帶或亞熱帶高山地區，植物光合作用能力之改變與高緯度之低地應有不同，爲了探討氣候之變遷對臺灣亞高山地區針葉樹光合作用之影響，本研究選擇生長於臺灣高海拔的臺灣雲杉爲材料，連續三年在不同季節進行測定。試驗分析包含了氣體交換、葉綠素螢光、葉綠素及可溶性蛋白質含量等。

貳、材料及方法

本試驗在塔塔加現場(23°29', 120°53', 2650 m)採取10年生臺灣雲杉之東南向1-2年生枝條爲材料，測定其光合作用能力、葉綠素螢光、葉綠素及可溶性蛋白質含量，試驗自1998年11月開始進行，迄於2001年5月。

一、光合作用和葉綠素螢光之季節變化

供測定用枝條之採樣在早上6:30進行，自樹上採下後隨即置入水中再修剪一次使切口不離水，然後以鹵素燈(600 μmol m^{-2} s^{-1} PPFD)照射至行光合測定爲止。

光合作用能力以可攜帶式之開放氣體系統(LI-6400, LI-COR Inc., USA)，配合針葉測定箱(6400-05, LI-COR Inc., USA)在飽和照度 (>1000 μmol m^{-2} s^{-1} PPFD)、自然氣溫、濕度及CO_2 濃度之條件下進行。若光度低於1000 μmol m^{-2} s^{-1}時，則以鹵素

燈光補助之。光合作用有效太陽輻射能是以輻射量計(LI-185A, LI-COR Inc., USA)測定。光合作用測定後接著以植物效率分析儀(PEA, Hansatech Ltd., Englan)測定在室溫下經暗處理之變動(Fv)及最大(Fm)葉綠素螢光，並計算其比值(Fv/Fm) (Blennow *et al.*, 1998)，測定時間為10:00-15:00，所有測定均重複4次。

二、葉綠素及可溶性蛋白質之測定

光合作用及葉綠素螢光測定之後，採取50 mg 之新鮮針葉樣本，置於低溫冰桶(<5℃)攜回實驗室，供葉綠素及可溶性蛋白質含量之測定。葉綠素係以80% 丙酮淬取後以分光光譜儀(U-2000, Hitachi, Japan)在645 及 663 nm波長測定之(Arnon, 1949)。可溶解性蛋白質則以Lowry等(1951)之方法測定。氣象資料得自距本試驗地水平距離8 km之中央氣象局阿里山氣象站。

參、結果

一、光合作用和葉綠素螢光之季節變化

本研究發現，臺灣雲杉在飽和光度之光合作用能力(light saturated net photosynthesis rate, Psat) 和Fv/Fm，均在4月份或5月份至翌年元月份維持較高側值，但是在低溫季節值會降低，入春後又會回升，此經年變化在1年生或2年生針葉並無顯著差異(圖1)。為了解從冬季至春季，氣溫之變化對臺灣雲杉之Psat 及Fv/Fm之影響，圖2顯示自1998至2000連續三年從12月至次年4月間之日均溫、Fv/Fm 及Psat之變化，結果顯示Fv/Fm和氣溫間之變化非常密切。而Fv/Fm與測定當日之日均溫間具有曲線相關，其相關係數(r)為0.849 (P<0.01)(圖3)。而Fv/Fm和測定前1-7日多日均溫(1-7日、1-6日……)間的相關係數為0.796至0.806 (P<0.01)。

依溫度對Psat的影響來看，可發現大部份的Psat和氣溫變化非常相近。可是，在1999年4月16日、2000年3月11日、2001年3月31日，儘管此時氣溫和Fv/Fm均已回升，但臺灣雲杉之Psat仍低(圖2)。除了前面提及的日期之外，所觀測之資料均顯示Psat和測定當日之平均溫度、測定前1-7日多日均溫之間存在著曲線關係 (0.686<r<0.818, 0.005<P<0.001)。其中Psat和測定前一天均溫之關係最密切(圖4)。

二、葉綠素及可溶性蛋白質含量之季節變化

在2年生之針葉，其可溶性蛋白質含量之季節變化和Psat相近，但1年生之針葉則否，因其可溶性蛋白質含量偏低(圖1)。同時也發現在1999年4月16日及2000年3月11日，儘管此時氣溫均已回升，但臺灣雲杉2年生針葉之可溶性蛋白質含量仍低；2001年為暖冬(圖2)，此時其可溶性蛋白質含量直到2001年2月份還未降低，然而到了4月份則降低至1999年和2000年時冬季中期至早春之低水準(圖1)。

圖1亦顯示葉綠素含量在秋季至隆冬較高，而入春至初夏則降低，此一趨勢和Psat與 Fv/Fm兩者之間的相關性甚低。

肆、討論

曾有幾位研究者報導，生長於溫帶及亞寒帶之雲杉，在野外之情況下，其光合

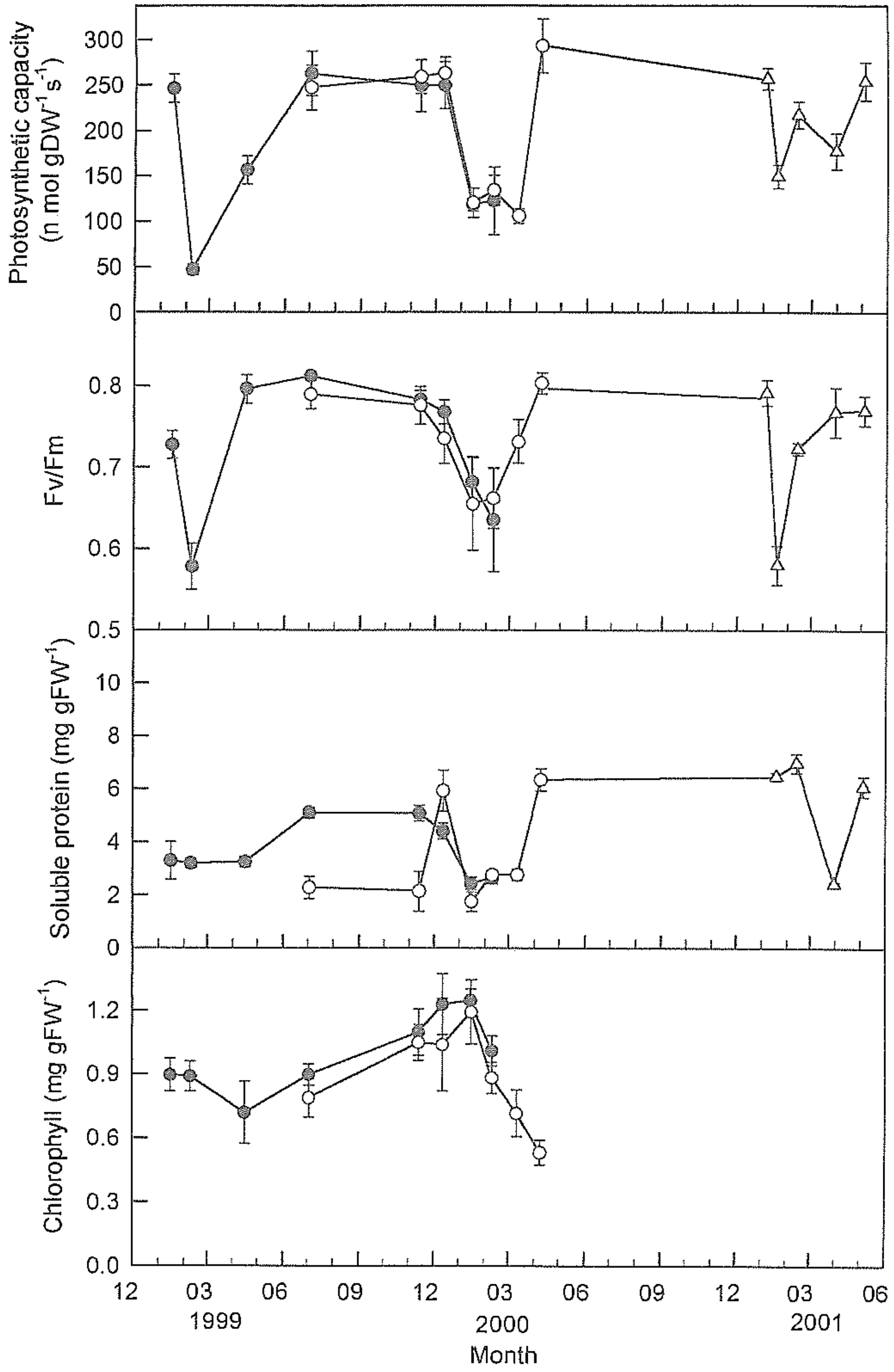


圖 1. 臺灣雲杉之光合作用能力、葉綠素螢光(Fv/Fm)、可溶性蛋白質及葉綠素含量的季節變化。●, ○ 及 △: 針葉分別萌長於1998, 1999 及 2000年。 I: se (n=3-4).

作用能力之季節變化和氣溫的季節變化相平行。光合作用能力及PSII的光化學效率(Fv/Fm)在入秋後受夜間降霜之影響而逐漸減低(Lundmark *et al.*, 1998; Schaberg *et al.*, 1998)。晚春之際，當日均氣溫回升至0℃以上時，挪威雲杉(*P. abies*)之Fv/Fm開始恢復，至12℃時則完全恢復(Lundmark *et al.*, 1998)。紅雲杉(*P. rubens*)光合作用之恢復亦具相同的趨勢(Schaberg *et al.*, 1998)。

本研究中發現臺灣雲杉在遭受低溫逆境之前，即由仲春或晚春至入冬初期仍維持在一較高之Psat和Fv/Fm 水平(圖1及圖2)。 Fv/Fm之變化隨氣溫變化的型態非常相近(圖2及圖3)，由此關係顯示Fv/Fm開始降低或完全回升的日均溫約在12℃左右(圖3)。此一結果指出溫度爲Fv/Fm 完全恢復的關鍵與其他高緯度地區者完全相似。但開始引起Fv/Fm降低之溫度則較高緯度者爲高 (Lundmark *et al.*, 1998; Schaberg *et al.*, 1998)。

本研究結果雖然顯示大部分之Psat 和氣溫的變化趨勢相近，然而在1999年4月16日、2000年3月11日，儘管此時氣溫和Fv/Fm均已回升，但臺灣雲杉之Psat仍低(圖2)。圖1亦顯示在2001年3月31日Psat有短暫降低之現像。曾有報告指出，受冬季抑制的蘇格蘭松之針葉在實驗室適宜的條件下，在數日內甚至數小時內完全恢復

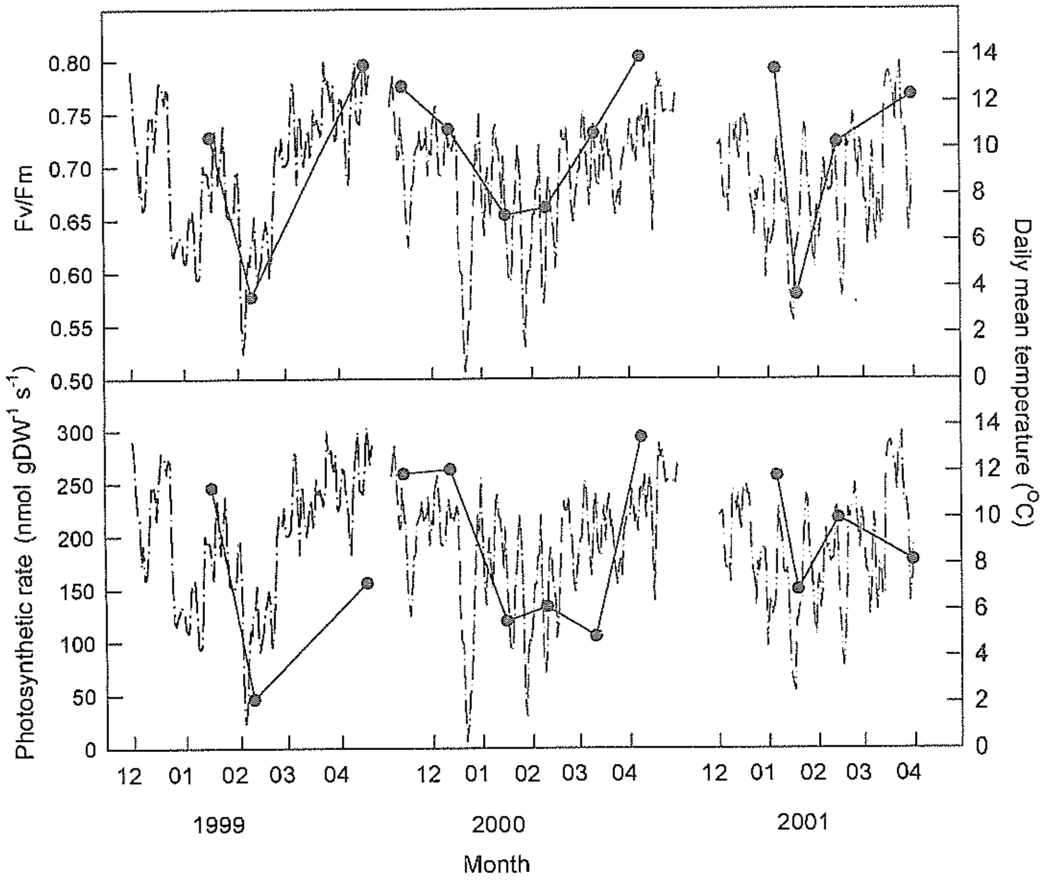


圖 2. 臺灣雲杉在冬季之光合作用能力(●)、葉綠素螢光(Fv/Fm, ●)及日平均氣溫之變化。

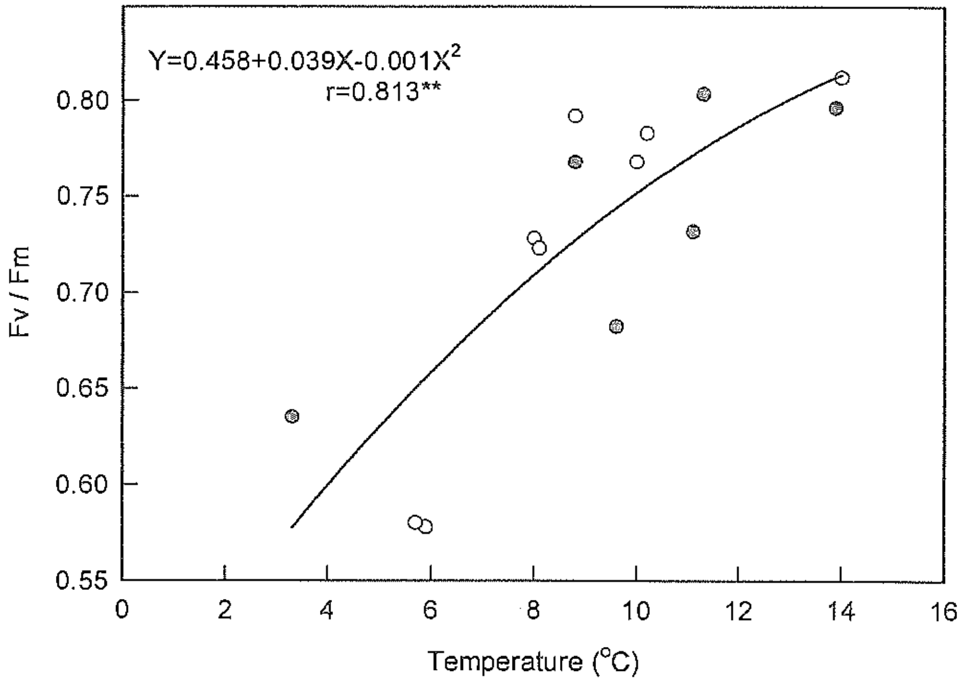


圖 3. 臺灣雲杉之葉綠素螢光(Fv/Fm)與測定當日平均氣溫間之關係，○：於溫暖及由暖至冷季測定者；●：葉綠素螢光回復時測定者。

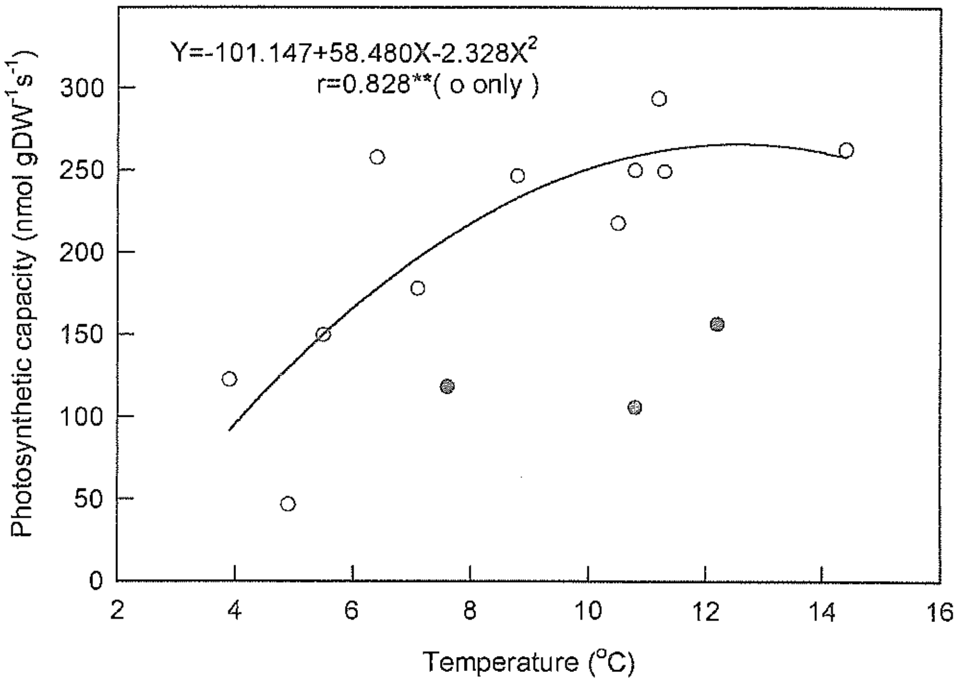


圖 4. 臺灣雲杉之光合作用能力與測定前一天平均氣溫間之關係，●：於1999年4月16日、2000年1月15日及3月11日所測定者；○：其餘日期所測定者。

(Lundmark *et al.*, 1988; Ottander *et al.*, 1995)。然而在自然條件下，光合作用能力要完全恢復則可能要耗時數月之久(Lundmark *et al.*, 1988; Ottander and Öquist, 1991; Wieser, 1997; Schaberg *et al.*, 1998)。Schaberg et al. (1998)指出受冬季抑制之紅雲杉可由溫度之誘導，在3小時即可回升其光合作用能力，但只能達到生長季節的37% 而已。因此，即使將材料短時間置於接近理想的環境中，光合作用受到冬季抑制之情形仍明顯的存在(Schaberg *et al.*, 1998)。Ottander and Öquist(1991)亦指出受冬季逆境影響的蘇格蘭松，其PSII的光化學效率之回復不管是在實驗室或野外均較光合作用能力要來的快。

植物因冬季引起的光合作用之抑制包括某幾個生理機制，例如光抑制(Strand and Öquist, 1985; Öquist *et al.*, 1987; Strand and Öquist, 1988; Streb *et al.*, 1998)、氣孔開度(Schaberg *et al.*, 1995; Schaberg *et al.*, 1998)、葉綠體結構(Fincher and Alscher, 1992)、葉綠素(Ottander *et al.*, 1995; Vogg *et al.*, 1998)及可溶性蛋白質含量(Naidu and Swamy, 1995; Ottander *et al.*, 1995)和酵素活性(Gezelius and Hallen, 1980; Strand and Öquist, 1988; Naidu and Swamy, 1995)等。在冬季，缺水亦為另一限制因子 (Schaberg *et al.*, 1998)。

本研究所測定之枝條均在黎明時採取，且立即在水中修剪以避免枝條缺水造成光合作用之限制因子。圖1顯示，從1999年到2000年間2年生針葉之Psat 的季節變化和可溶性蛋白質含量相當一致，在1999年4月16日及2000年3月11日甚至相輔相成。在上述日子，氣溫和 Fv/Fm均已回升，但可溶性蛋白質含量仍處於低水平，此時Psat則未完全回升。此外，亦發現在2001年時Psat亦受到可溶性蛋白質含量之影響，當時可溶性蛋白質含量受到暖冬之影響，直到2001年2月份還未降低，在2001年1月19日所測得之 Fv/Fm已低於2000年所測得之值，然而其Psat並未如2000年冬天所測得者那樣低。此外，在2001年之3月份儘管Fv/Fm 已接近完全恢復，但Psat 仍隨可溶性蛋白質含之減少而降低。

葉片之可溶性蛋白質主要是由光合作用酵素所構成 (Friedrich and Haffaker, 1980)，且與C3植物葉綠體中固定CO_2的主要酵素 RuBPC間具正相關 (Bravdo and Pallas, 1982; Muthuchelian, 1992; Naidu and Swamy, 1995)。許多實例顯示，單葉之光合作用能力與可溶性蛋白質具正線性關係(Patterson *et al.*, 1977; Bravdo and Pallas, 1982; Weng and Chen, 1987; Muthuchelian, 1992)。Ottander and Öquist (1991)斷定蘇格蘭松樹之PSII具較快速從光抑制回復之能力，而遜於從低溫抑制回復之能力，主要關鍵在於酵素之含量。圖1顯示Psat 和可溶性蛋白質含量受冬季低溫逆境後之回復較Fv/Fm慢。 由複迴歸分析結果，清楚的顯示了2年生針葉之Psat 的季節變化同時受到Fv/Fm與可溶性蛋白質含量之影響(Psat = -359.04 + 623.88 Fv/Fm + 22.21 SP, R^2 =0.788, P<0.01)，Fv/Fm 和可溶性蛋白質含量對Psat的標準淨迴歸係數(standard partial regression coefficient)，部分相關係數分別為0.662 (57%)及0.498 (43%)，因此可溶性蛋白質含量對Psat的影響份量幾近於Fv/Fm。此外，實測之Psat和迴歸方程式估算之Psat (Psat = -359.04 + 623.88 Fv/Fm + 22.21 SP) 間，亦具統計上之顯著相關性(r=0.887, n=14, P<0.001, 圖5)，此一結果可

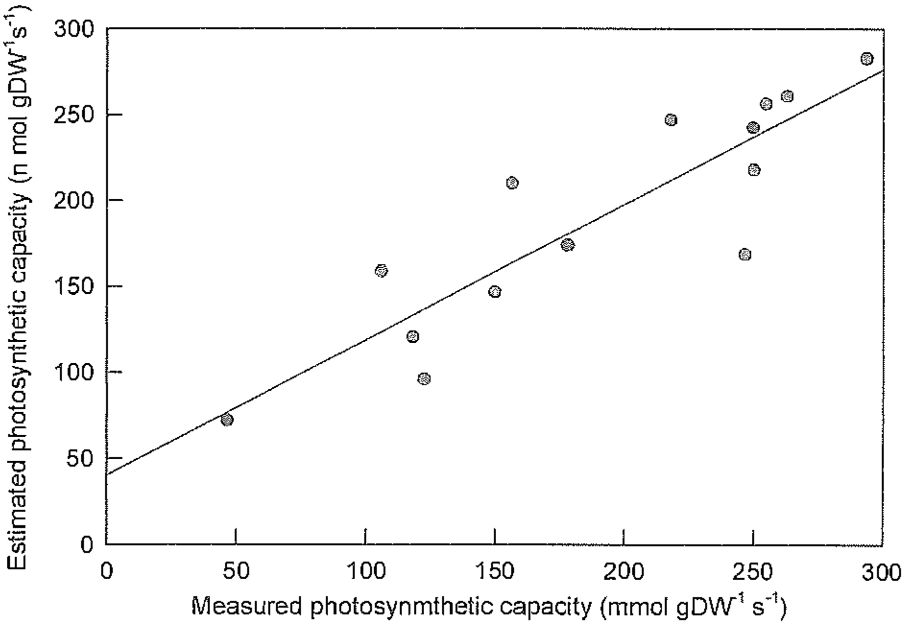


圖 5. 以複迴歸方程式(Y (Psat) = -359.04+623.88 Fv/Fm + 22.21 SP)所估計之光合作用能力和實測光合作用能力之關係。

供推斷，在入春後，光合作用能力恢復延緩的原因之一爲針葉之可溶性蛋白質含量恢復緩慢所致。且臺灣雲杉在不同季節之Psat，可以由針葉之Fv/Fm值和可溶性蛋白質含量來估算。

Gazelles and Helen (1980)的報告指出，*Pinus silvestris* 之可溶性蛋白質含量在4月份降低然後在7月份回升，此時之RuBPC活性亦高，暗示了蛋白質(包括羧化酵素)爲新生幼枝之主要氮源。圖1及圖2顯示2001年之1-2月份爲暖冬，因此可溶性蛋白質含量並未受低溫之影響而降低，然而在同年3月31日氣溫雖未下降，但可溶性蛋白質含量和Psat 卻降低。同樣的情況亦發生在另外兩種針葉樹臺灣二葉松(*Pinus taiwanensis*) 和臺灣鐵杉 (*Tsuga chinensis*)(未發表資料)，此結果顯示可溶性蛋白質供爲新生幼枝之氮源。

葉綠素亦爲影響光合作用能力之主因，大多數的報告指出葉綠素含量會在低溫或短日情況下降低(Ottander *et al.*, 1995; Vogg *et al.*, 1998)，雖然圖1顯示臺灣雲杉之葉綠素含量在夏季較高而在冬季較低，然而其和Psat間之關係並未如 Psat 和Fv/Fm間的關係強，亦弱於Psat 和可溶性蛋白質含量間之關係。

從以上結果我們得到以下之結論：臺灣雲杉之光合作用能力，在冬季降低而在春季回復之主要原因，爲光抑制(Fv/Fm值降低)及葉片可溶性蛋白質含量變化所致。

伍、參考文獻

Amon, D.J. 1949. Copper enzyme in isolated chloroplasts polyphenoloxidased in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.

Blennow, K., A.R.G. Lang, P. Dunne and M.C. Ball. 1998. Cold-induced photoinhibition and growth of seedling snow gum (*Eucalyptus pauciflora*)

under differing temperature and radiation regimes in fragmented forests. Plant Cell Environ. 21:407-416.

Bolhar-Nordenkampf, H.R. and E.G. Lechner. 1988. Temperature and light dependent modifications of chlorophyll fluorescence kinetics in spruce needles during winter. Photosyn. Res. 18:287-298.

Bravdo, B. and J.E. Pallas. 1982. Photosynthesis, photorespiration and RuBP carboxylase/oxygenase activity in selected peanut genotypes. Photosynthetica 16:36-42.

Fincher, J. and R.G. Alscher. 1992. The effect of long-term ozone exposure on injury in seedlings of red spruce (*Picea rubens Sarg.*). New Phytol. 120:49-59.

Friedrech, J.W. and R.C. Haffaker. 1980. Photosynthesis, leaf resistances, and ribulose-1,5-biphosphate carboxylase degradation in senescing barley leaves. Plant Physiol. 65:1103-1107.

Gezelius, K. and M. Hallen. 1980. Seasonal variation in ribulose bisphosphate activity in *Pinus sylvestris*. Physiol. Plant. 48:88-98.

Haldimann, P. 1998. Low growth temperature-induced changes to pigment composition and photosynthesis in *Zea mays* genotypes differing in chilling sensitivity. Plant Cell Environ. 21:200-208.

Lowry, O.H., N.J. Rosenbrough, A.L. Farr and R.J. Randall. 1951. Protein measurement with folin reagent. J. Biol. Chem. 193:265-275.

Lundmark, T., J.E. Hallgren and J. Haden. 1988. Recovery from winter depression of photosynthesis in pine and spruce. Trees 2:110-114.

Lundmark, T., J. Burgh, M. Strand and A. Koppel. 1998. Seasonal variation of maximum photochemical efficiency in boreal Norway spruce stands. Trees 13:63-67.

Muthuchelian, K. 1992. Biomass productivity relative to net photosynthetic rate, ribulose-1,5-biophosphate carboxylase activity, soluble protein and nitrogen contents in ten tree species. Photosynthetica 26:333-339.

Naidu, C.V. and P.M. Swamy. 1995. Seasonal variation in ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase activity and its relationship with leaf protein content and net photosynthetic rate in tropical deciduous tree species. Photosynthetica 31:85-90.

Öquist, G. 1986. Effect of winter stress on chlorophyll organization and function in Scots pine. J. Plant Physiol. 1202:169-179.

Öquist, G. and M. Strand. 1986. Effects of frost hardening on photosynthetic quantum yield, chlorophyll organization, and energy distribution between the two photo systems in Scots pine. Can. J. Bot. 64: 748-753.

Öquist, G., D.H. Greer and E. Ogreen. 1987. Light stress at low temperature. p. 67-87. In: Topics in Photosynthesis. Vol. 9.

Eds. Kyle, D.J., C.B. Ormond and C.J. Anthem. Leerier Amsterdam.

Ottander, C. and G. Öquist. 1991. Recovery of photosynthesis in winter-stressed Scots pine. Plant cell Environ. 14:345-349.

Ottander, C., D. Campbell and G. Öquist. 1995. Seasonal changes in photosystem II organization and pigment composition in *Pinus sylvestris*. Plantar 197: 176-183.

Patterson, D. T., J.A. Bounce, R.S. Alberta and E.V. Oldenburg. 1977. Photosynthesis in relation to leaf characteristics of cotton from controlled and field environments. Plant Physiol. 59:384-387.

Schaberg, P.G., R.C. Wilkinson, J.B. Shane, J.R. Donnelly and P.F. Cal. 1995. Winter photosynthesis of red spruce from three Vermont seed sources. Tree Physiol. 15: 345-350.

Schaberg, P.G., J.B. Shane, P.F. Cal, J.R. Donnelly, and G.R. Strobes. 1998. Photosynthetic capacity of red spruce during winter. Tree Physiol. 18: 271-276.

Strand, M. and G. Quits. 1985. Inhibition of photosynthesis by freezing temperature and high light levels in cold-acclimated seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris*). II Effects on chlorophyll fluorescence at room temperature and 77K. Physiol. Plant. 65:117-123.

Strand, M. and G. Quits. 1988. Effects of frost hardening, deadening and freezing stress on in vivo chlorophyll fluorescence of Scots pine seedlings (*Pinus sylvestris* L.). Plant Cell Environ. 11:231-238.

Strand, M. and T. Lundmark. 1995. Recovery of photosynthesis in 1-year-old needles of unfertilized and fertilized Norway spruce (*Picea abides* (L.) Karts.) during spring. Tree Physiol. 15:151-158.

Streb, P., W. Shan, J. Federated and R. Bilgy. 1998. Divergent strategies of photo protection in high-mountain plants. Planta 207:313-324.

Vogg, G., R. Heim, J. Hansen, C. Schafer and E. Beck. 1998. Frost hardening and photosynthetic performance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. I. Seasonal changes in the photosynthetic apparatus and its function. Planta 204: 193-200.

Weng, J.H. and C.Y. Chen. 1987. Differences between India and Japonica rice varieties in CO_2 exchange rates in response to leaf nitrogen and temperature. Photosynth. Res. 14: 171-178.

Wiser, G. 1997. Carbon dioxide gas exchange of cumbrance pine (*Pinus cembra*) at the alpine timberline during winter. Tree Physiol. 17:473-477.

Seasonal Variation in Photosynthesis of *Picea morrisonicola* Grown at Tatachia area of Taiwan

Jen- Hsien Weng[1], Tien-Szu Liao[2], Kuo-Hu Sun[1], Chi-Ch Chung[1], Chung-Ping Lin[1] and Chung-Hei Hsu[1]

[1] Department of Life Science / [2] Department of Forestry,
National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan (ROC)
E-mail: jhweng@dragon. nchu .edu.tw

Abstract

The purpose of this study is to investigate seasonal variation in photosynthesis capacity of Taiwan spruce (*Picea morrisonicola*) grown in sub-alpine region (Tatachia area, 23°29', 120°53', 2650 m) of Taiwan. Experiments were conducted from November 1998 to May 2001 to cover several different growing seasons. It was observed that the photosynthesis capacity (light saturated net photosynthetic rate, Psat), chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) and soluble protein (SP) content of needles maintained in higher levels during the period from mid or late spring to early winter. A curvilinear relationship was detected between Fv/Fm and multi-day mean temperature. Among these independent variables, the mean temperature of the measuring days showed the highest correlation to the Fv/Fm. The switching point for Fv/Fm activities, either start to decrease or begin to make full recovery, was found at about 12°C air temperature. The seasonal variations of Psat and soluble protein content of needles were similar to that of the Fv/Fm. However, at early or mid spring, Psat and soluble protein content were still kept in a lower level, whereas the air temperature and Fv/Fm levels had already risen. By applying multiple regression analysis, it was shown that both Fv/Fm and soluble protein content of needles affected the seasonal variation of Psat: Psat = -359.04+623.88 Fv/Fm + 22.21 SP, (R^2 =0.788, P<0.01). Results suggest that the decrease in photosynthesis capacity for Taiwan spruce in winter and its recovery in the spring may due to the photoinhibition and soluble protein content in needles. The other possible reason of the delay in the recovery for photosynthesis capacity in spring may due to the late recovery of soluble protein contents in needles.

Key words: Chlorophyll fluorescence, Conifer tree, Photosynthetic capacity, Taiwan spruce, season, Soluble protein, Sub-alpine, Subtropical.

農業氣象及農業水資源之應用與管理
精準果園之水分管理－果園多功能自動灌溉噴霧系統在果樹產業上的應用
143-156, 2002

12 精準果園之水分管理 －果園多功能自動灌溉噴霧系統在果樹產業上的應用

施昭彰
行政院農業委員會農業試驗所園藝組
E-mail:jcshih@wufeng.tari.com.tw

摘要 ---------- 144
壹、前言 ---------- 144
貳、國內外應用實例 ---------- 145
參、結語 ---------- 152
肆、參考文獻 ---------- 152
英文摘要 ---------- 154

12 精準果園之水分管理 －果園多功能自動灌溉噴霧系統在果樹產業上的應用

施昭彰
行政院農業委員會農業試驗所園藝組
E-mail:jcshih@wufeng.tari.com.tw

摘要

噴霧藉蒸散吸熱降溫或釋放潛熱加溫，長久以來一直是園藝上習知之有效控溫措施。然而，無論是作物生產環境之降溫或增溫系統均必須配合作物生長之生理條件及規律加以機動有效的調節才有意義。作者針對上述訴求收集國外有關之文獻資料，加以研發，完成人工智慧型多功能自動灌溉噴霧系統以克服作物之生理障礙，改善生育環境條件，初步應用在多種果樹之誘引花芽分化、滿足低溫需求、催花、延緩果實之成熟、避開逆境與某些設施作物之病蟲害之生態及物理防治上極具成效。

關鍵詞：精準、果園、水分管理、多功能、自動灌溉噴霧系統。

壹、前言

台灣果樹栽培面積廣達廿二萬餘公頃，其中約有三分之二是屬於坡地果園，在果園管理上灌溉、施肥、噴藥及防災一直是影響果樹開花與結果的重要田間管理項目，特別是灌溉受限於水資源不足及正確合理用水觀念之缺乏，絕大部份果園不能正確灌溉，不利果樹開花及著果，影響產期及果實產量及品質甚鉅。近年來由於農村人力老化，勞動力不足及生產成本居高不下，傳統果園之管理方式已難以因應市場之變化及衝擊，因此，果園管理導入現代化之觀念及設計進行自動化及機械化有其重要性及急迫性。

尤其在台灣加入世界貿易組織後，產業將發生巨大變化，如何加強未來有競爭力果樹產業之發展能量是農業轉型成功的主要課題，必須對這些有競爭潛力產業進行體質改善。

台灣位處溫暖地區，每年各種作物均會存在因環境失調引起之各種生理障礙，為了保障作物，穩定生產並調節產期，調整市場供銷，有必要以作物生理資料配合經濟有效的自動化環境調控技術來改善生產環境。

個人以為以下的產業規劃有利於達成

上述之訴求及目的：

一、落葉性果樹如梨、桃等低需冷性品種應加強高品質早果之穩定生產，以產期及市場區隔保障競爭力。

二、亞熱帶及暖溫帶果樹如荔枝及枇杷等生理對環境因子尤其是溫度極爲敏感，而生產受地理、氣候侷限與市場保障的作物，常受異常氣候影響而無法穩定生產，應加強生理調節技術，以穩產及早產滿足市場需求。

三、熱帶果樹如蓮霧、印度棗等在本省生產有獨特技術及供鮮食用，具備區域生產之競爭優勢，但常遭受寒害、焚風及紅蜘蛛爲害，生產一直無法受到保障，品質也難以穩定，應以環境調節技術改善微氣候保障生產。

遮陰及噴灑水霧藉蒸散吸熱降溫或釋放潛熱加溫，長久以來一直是園藝上習知之有效控溫措施。然而，無論是作物生產環境之降溫或加溫系統均必須配合作物生長之生理條件及規律加以機動有效的調節才有意義。作者針對上述訴求收集國外有關之文獻資料，加以研發，完成人工智慧型自動噴灑水霧蒸散降溫系統以克服作物之生理障礙，改善生育環境條件，初步應用在蓮霧之誘引花芽分化及催花作業，梨及桃樹之滿足低溫需求提前開花及延緩果實之成熟與某些設施作物之病蟲害之生態、物理及生物防治上。完善的系統有待進一步的檢驗及持續的改良，並應用在其他作物產業上。

貳、國內外應用實例

1. 國外農作物利用噴霧降溫之實例

(1)利用噴霧降低樹冠微氣候溫度之實例：

南非使用間歇式噴霧法降低澳洲胡桃樹冠的溫度(Allan *et al*., 1994)，樹冠噴霧通常降低樹冠溫度到介於氣溫與濕球溫度之間，經過試驗一分鐘的噴霧時間對降溫較有效，持續的間歇噴霧能導致樹冠的溫度迅速下降。在大熱天，一棵噴濕的樹大約要花4~5分鐘完全乾掉，而一棵乾的樹噴濕後大約花費2分鐘可降溫4℃以上。當氣溫超過45℃時，噴濕的樹冠以紅外線感熱儀偵測平均是27℃，而對照的乾樹是42℃，噴霧降溫的功效確實十分顯著。

(2)利用噴霧降低果實溫度之實例：

美國華盛頓州立大學利用噴霧降低蘋果果實溫度所使用的水量以每公頃每秒6公升以上效果較佳。在晴朗無雲氣溫達到40℃的條件下每公頃每秒噴6.25公升的水霧可以保持蘋果果實溫度接近所選擇的溫度範圍。經由以果實溫度爲基準的自動蒸發冷卻間歇式噴霧能達到最少用水量的最佳生理效果（Evans *et al*., 1996）。

(3)應用噴霧降溫調節作物生理，以避開不利天候之實例：

噴霧降溫能夠調節果樹的休眠需求、抗寒能力、調節開花時間，以避開不利天候。微噴霧是保護作物免於不利環境的有效工具，如柑桔可因水霧中釋出的潛熱免於霜害，溫帶果樹可因水霧蒸發散熱降溫滿足低溫需求，也可因降溫延遲開花避開霜害，可調節不同品種花期以利雜交授粉，減少因日燒引起的落果及損傷，及改善果皮著色，如蘋果等（Spieler, 1994）。

A.桃子及油桃

(a)當樹溫超過18℃時藉著間歇性噴灑水霧可以延緩〝陽金〞及〝陽富〞油桃及〝佛羅達金〞桃子達14天之久。以55％不織

布遮陰可以提早開花展葉。某些品種噴灑水霧會造成芽體嚴重脫落。遮陰及噴灑水霧可降低形成層的溫度達5-10℃，因而延遲收穫期達5-7天之久(Buchanan *et al*., 1977)。

(b)以色列利用噴霧蒸發降溫促進油桃萌芽有效，當日溫高於16℃時以樹冠噴霧降溫可降低芽溫3到5℃而促成葉芽及花芽提早萌發（Erez and Couvillon, 1983）。

(c)佛羅里達大學以桃〝佛羅達金〞及油桃〝陽金〞及〝陽光〞進行噴霧降溫，可以使休眠期的花芽提早7-13天開花，在休眠期之後連續噴水降低氣溫則延遲開花（Gilreath and Buchanan, 1980,1981）。

(d)在美國南方晚霜經常會摧殘桃花造成重大損失，因此使桃樹晚開花的方法將會是有利的，蒸散降溫可以延緩植株開花，同時對於某些地區的某些年份低溫不足以終止芽體休眠也有幫助。桃樹於後休眠期開花前自1月1日起連續噴霧兩個月，蒸發冷卻抑制了桃芽的發育，延遲開花達10~15天，結果數由24個/株增加到206個/株，有顯著防霜的效果（Lipe *et al*., 1977）。

(e)〝紅哈芬〞桃子於冬季休眠期終了（1月22日）爲了延長休眠減少冷凍低溫的傷害，當氣溫高於4.4℃時進行噴水霧蒸散降溫直至4月15日盛花時停止，共噴了1040毫米的水量，可使花期延遲。最適啓動噴霧系統的乾球溫度爲6.7℃可降溫約2℃並省水37%（Barfield *et al*., 1977）。

(f) 桃休眠芽經噴霧降溫及遮陰之後，芽頂端之分生組織離層酸含量顯著降低。這一資料支持噴霧能經由溫度、光線及淋洗效應影響芽體休眠的觀點（Freeman and Martin, 1981）。

(g)於晚冬桃子樹體休眠完成及春天盛花前噴霧，蒸發冷卻抑制花芽的發育，延遲開花達15天，樹體溫度降低達6.5℃，木質部耐寒能力上無顯著差異，於三月初噴霧的花芽耐寒能力優於無噴霧處理者，但三月末時則相反，噴霧增加死花數(Bauer *et al*., 1976)。

(h)以色列利用噴霧蒸發降溫促進油桃萌芽有效，當日溫高於16℃時以樹冠噴霧降溫可降低芽溫3到5℃(Erez and Couvillon, 1983)。

(i)當氣溫高於 7.2℃時，以間歇噴霧每間隔75秒每小時噴0.2毫米水霧，於2月11日起噴一個月，蒸發冷卻抑制了桃芽的發育，延遲開花達7~14天，果實成熟期晚了4~7天，延遲開花使霜害減少了一半以上，但考慮到果實延遲成熟，價格降低及設備成本的投資，延遲開花不被推薦(Chesness *et al*.,1978)。

B.蘋果

(a)於英格蘭東南部蒸發冷卻抑制蘋果芽的發育，延遲開花達17天，足夠去避開霜害(Hamer, 1980)。

(b)蘋果於2月27日起溫度高於4.5℃時開始噴霧降溫直到未噴霧處理的樹滿花時爲止，以延遲開花避開晚霜。蒸發冷卻抑制蘋果芽的發育，延遲開花達14天，但因噴水造成芽含水量增加，芽變得較不能忍受低溫，所以沒能達到預期防霜的目的（Hamer, 1981）。

(c)於晚冬及春天蒸發冷卻抑制蘋果芽的發育，延遲開花達3~10天，霜害發生的程度決定於芽發育的程度及含水量(Hamer, 1983)。

(d)樹冠微噴霧以蒸發降溫可延遲杏花10天，桃花13天及蘋果18天開花，電子式

葉面溼度感應器控制噴霧作業要較一般固定式時間控制器來得經濟有效(Hewett and Young, 1980)。

(e)蘋果樹於九月中及十月噴霧降溫後，花芽降溫12.5℃，樹幹降溫18℃。早秋及冬季的冷凍測試(-10~-21℃)顯示噴霧可使蘋果樹增加高達6℃的抗寒力(Raese, 1981)。

(f)紐西蘭應用噴霧蒸發降溫延遲蘋果開花，於樹冠內放置溼度感應器控制噴霧作業可較機械式時間控制器減少24％的用水需求(Young *et al.*, 1979)。

(g)紅元帥及依達紅蘋果於超過8.3℃時以樹冠上噴霧可延遲盛花4-7天，蒸散降溫於氣溫-5 或 -8 ℃時施行可顯著促進花芽存活，預估耐寒力約增加4℃(Swartz *et al.*, 1977)。

(h)在英屬哥倫比亞，從四月16日至五月16日當日曬芽溫高於7℃時，噴水霧蒸散降溫，延遲蘋果開花達17天，可有效避免霜害(Looney and McMechan, 1975)。

(i)〝紅元帥〞蘋果當日溫高於7℃時，以自動噴水霧2分鐘的循環來蒸散降溫，可降芽溫約2℃，延遲開花達17天(Anderson *et al.*, 1975)。

C.梨樹

(a)噴霧降溫能噴霧延遲梨樹開花8~15天，晚熟0到7天，增加著果率及種子含量，但也使梨減重6~12％(Collins *et al.* 1978 b)。

(b)耐凍測試顯示巴梨的樹勢及花芽發育階段沒有耐凍性差異，蒸發降溫引起花期推遲但也損失花芽耐凍性(Strang *et al.*, 1980)。

D.葡萄

(a)在美國德州生產葡萄主要的風險來自於萌芽前的霜害，從一至四月當氣溫高於10℃時，每4分鐘噴霧 25秒，延遲開花達8天，可有效避免霜害(Lipe *et al.*,1992)。

(b)在義大利比薩平原葡萄為了要避開萌芽前的霜害，從萌芽前30至63天當氣溫高於8℃時，以濕度感應器自動噴霧降溫，延遲開花10-12天，但不能有效避免霜害，所以噴霧降溫防霜不值得推薦(Guerriero *et al.*, 1987)。

E.柑桔

於佛羅里達當冬季風平輻射霜形成條件下微噴霧因於冰晶形成時釋出溶解熱化冰可有效保護年輕柑桔樹幹及分枝免於霜害，但於乾燥有風結霜的夜晚此法無效(Parsons *et al.*, 1982)。

F.草莓

草莓利用微噴霧系統於春天可防霜，減少芽死亡，夏天可降溫，顯著增產(Goulart *et al.*, 1993)。

(4)應用噴霧降溫改善作物生育條件，促進開花、增加產量、改善品質。

A.葡萄：噴霧降溫能促進葡萄早而整齊的萌芽。百烈特及湯普森無子葡萄於秋冬季每天從早上6點至下午6點以樹冠微噴法單獨使用或配合修剪後噴施氰酸，結果是蒸發冷卻降低芽溫，於直接日照下從30℃降至16℃，於遮陰下從25℃降至13℃。蒸發冷卻促成葡萄早而整齊的萌芽，但氰酸與其合用時僅在芽萌發的初期有效。百烈特噴施氰酸增產6％而蒸發冷卻增產6~24％，二者合用時增產17~46％，當蒸發冷卻時間延長後增產25％，但氰酸與其合用時僅比未處理者增產11.6％(Klein *et al.*, 1988)。

B.澳洲湖桃：於南非亞熱帶的氣候條件下，噴霧降溫能顯著提昇澳洲湖桃的品

質。

C.奇異果：幫助奇異果打破休眠，改善開花，增加著果數及產量(Allan *et al.*, 1994)。

(5)應用噴霧降溫促進果實著色，免於日燒，提昇果實品質。

果實著色的發展受到栽培及環境因素的影響，最重要的環境因素是溫度及光。溫度對花青素的累積及紅色的表現有非常顯著的效果，低溫促成花青素的合成而高溫卻抑制此一過程。如樹冠噴霧降溫對促進蘋果果皮紅色的表現有十分顯著的效果，目前已在蘋果生產上實用化。降溫除了在溫暖地區減少熱對花青素形成的抑制累積效應而促進花青素形成外尚可降低果實呼吸率而達到較好果實品質的結果，樹冠噴霧也因移去葉表的浮塵微粒而改善光合能力。

A.噴霧蒸散降溫可顯著減少蘋果日燒的發生(Kotze *et al.*, 1988；Evans *et al.*, 1993；Andrews, 1995)。

B.噴水霧蒸散降溫改善〝紅元帥〞蘋果著色促進果實成熟及品質(Unrath, 1973；Unrath and Sneed, 1974)，增加可溶性固形物及大小(Unrath, 1975)，減少苦痘病等生理病變(Unrath and Sneed, 1974； Unrath, 1975)。

C.〝優納金〞蘋果以間歇式的樹冠噴霧蒸發降溫能降低陽光的傷害達9.4~15.8%，當沒有噴霧的果實平均溫度達45.6℃時，噴霧能降低果面的溫度最高達8.1℃。噴霧能緩和果實溫度的上昇。與暴露於陽光下的果實相較，遮陰的果實僅能依賴噴霧降低1~2℃。噴霧降溫能增加酸度，對果實貯藏力有正面的效應(Parchomchuk and Meheriuk, 1996)。

D.蒸發降溫系統使得加州橘郡草莓免於日燒，改善品質(Valentine, 1980)。

2. 國內外應用噴霧抑制病蟲害之實例：

(1)蟲害的物理防治：

A.噴灑水霧抑制蘋果歐洲紅點葉蟎、二點葉蟎在不危害的族群數水準下(Olcott-Reid *et al.*, 1981)。

B.樹冠噴水霧對延遲梨木蝨產卵有非常顯著的效果(Collins *et al.*, 1978 a)。

C.在國內作者及研究同仁以噴水霧抑制甜瓜的二點葉蟎及銀葉粉蝨有十分顯著的效果。

(2)病害的物理防治：

A.噴水霧在病害的效果較引起爭議，在美國華盛頓州果樹試驗站的試驗結果雖發現蘋果瘡痂病、黑星病在兩年的第二年有增加但感染比率並沒有在兩年的試驗裡有顯著的改變，影響的關鍵可能在噴霧的時間，頻度，噴霧間距，噴水量(Olcott-Reid *et al.*, 1981)在這一方面國內外均還缺乏科學性的研究。

B.樹冠噴水霧對梨火傷病發生有利(Collins *et al.*, 1978 a)。

C.在國內作者及研究同仁以噴水霧抑制甜瓜的白粉病有相當顯著的抑制效果。

由以上結果顯示，似乎要以噴水霧達到抑制某些病害(如白粉病)而不引起其他病害的發生中間存在若干研發空間，如能徹底了解各主要病害之發病環境並利用智慧型噴霧自動化系統作短時間歇性的噴霧除抑制蟲害，提昇生理效應外，對病害的發生也能作合理的管理，這種模式的建立對於減少化學藥劑的施用上有相當正面的意義。

3. 國內應用噴霧於果園管理之實例：

果園多功能自動噴灌系統係針對果樹產業之規劃提供技術上之支援，以達到灌溉施肥合理化、便利化、精確化，產期可調化及生產保障化等目的。

果園多功能自動噴灌系統包含以下三個子系統：

①灌溉施肥自動化系統。

②自動化噴霧防災系統。

③自動化噴霧生理調節系統。（系統二及三見圖1）

以下就各個系統的目的、作物對象、作用原理及功能逐項說明。

益之果樹作物。

C.作用原理及實施要項：

(a)以電磁感應式土壤水分張力計依果樹作物需水之土壤水分張力狀況設定水分張力值，進行管路自動化灌溉作業。

(b)當土壤水分潛勢值即將踰越作物需給水之設定值時，也就是當土壤變得較乾旱而需要灌水時，電磁感應式水分張力計即自動感應而啓動馬達或/和打開電磁閥灌水，俟水分張力計指針因供水後舒解張力、壓力下降指針偏離感應磁場後停止供水。

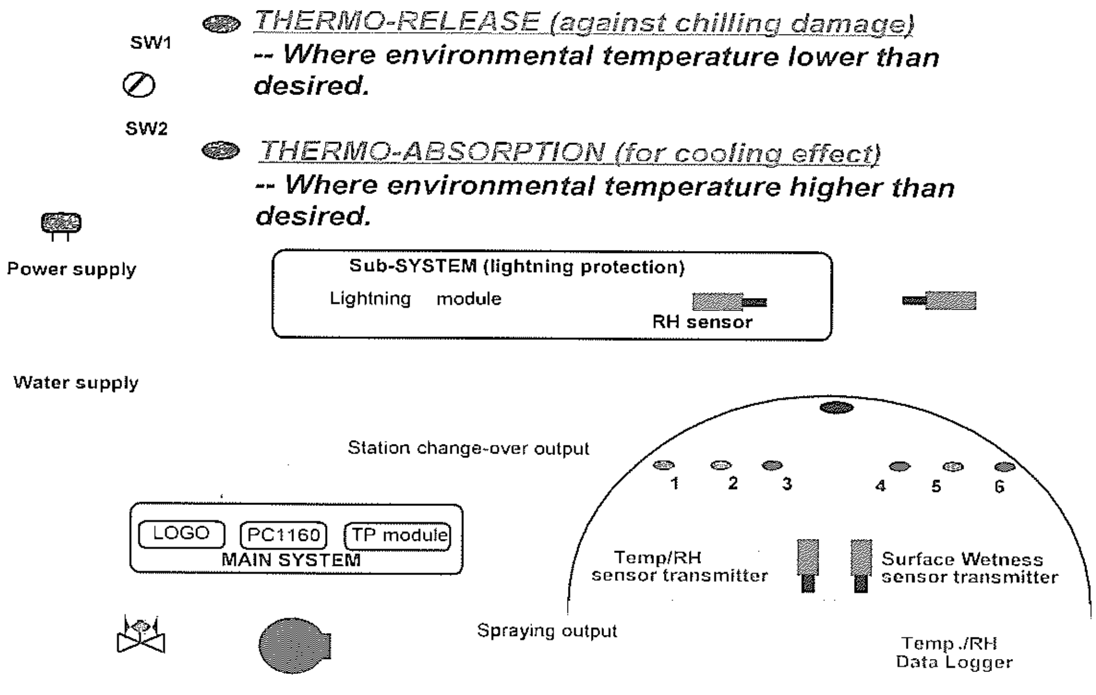


圖1. 自動化噴霧防災及生理調節系統。

(1)果園灌溉施肥自動化系統

A.實施目的：

建立各類果園灌溉施肥自動化生產模式，以達到省水、降低生產成本、管理合理化、提昇果品質量之目的。

B.作物對象：所有有灌溉施肥經濟效

(c)爲防止灌水量與指針感應上之時間落差應聯結時間控制器遲滯灌溉動作，以便較爲精確合理灌溉。

(d)爲利用灌溉系統發揮施肥效果，液態肥料可以事先設計規劃好以不同組合肥料液桶配合肥料分注器利用灌溉管路進行

自動施肥作業。

(e)本系統可以電磁閥及時間控制器分區實施，以大幅降低設施成本提高使用效能。

D.執行成果：

目前已於國內設立各類果園示範推廣點十四處，推廣面積十公頃以上，並辦理系統之示範觀摩會四場，編印果園自動灌溉技術手冊及果園多功能防災自動化技術手冊各一份，廣爲告知農民加速落實灌溉施肥、防災自動化科技。

(2)果園自動化噴霧防災系統

A.裝設目的

(a)預防果實因寒流突襲氣溫劇變、結霜造成之生理傷害及落果。

(b)預防回南焚風短時乾熱之氣候造成果實皺縮、燒傷等生理傷害。

(c)預防高溫乾燥通風不良氣候造成紅蜘蛛類發生爲害葉片的情況。

B.作物對象

(a) 容易因突發之低溫造成傷害之果樹種類如梨、枇杷、蓮霧等。

(b)在焚風肆虐下易造成傷害之果樹種類如番荔枝類、枇杷、印度棗、梨、蓮霧等。

(c)在高溫乾燥氣候下發生紅蜘蛛類爲害之果樹如網室木瓜、印度棗、葡萄、柑桔、桃、枇杷、草莓等。

C.作用原理及實施要項

(a)預防寒害及霜害

於寒流或霜害來襲前將溫度感應器設定高於寒害或霜害發生之臨界溫度1-2℃，當低溫來臨時溫度感應器感應到低溫自動啓動馬達灑水，利用地下水或加溫後的水或熱風加溫水噴灑水霧於果樹樹冠上，利用水之物理性降溫放熱的原理緩和氣溫驟變，形成保護樹冠之緩衝空間。

實施上應特別注意之處在臨界低溫下整個系統必須持續運作不能中斷，否則水分蒸發會吸熱使溫度更形降低，造成更大傷害，使用上要特別審愼。

(b)預防回南焚風之乾熱氣候

當回南焚風盛行之前，將空氣濕度感應器設定高於會造成焚風傷害之空氣濕度，俟乾熱之空氣吹襲時，空氣濕度感應器自動啓動馬達噴灑水霧，抑制蒸散作用防止果實及葉片因急遽失水造成的皺縮及燒傷。

(c)防治紅蜘蛛類之發生及危害

一般紅蜘蛛好發於高溫乾燥不通風的環境下，利用自動噴灑水霧的方式改變生態環境，讓紅蜘蛛類生病死亡是紅蜘蛛防治的最高境界，省錢、省工又不會造成紅蜘蛛抗藥性，此種物理性環境保護效益遠大於生物防治及化學防治。防治要領是當溫度及濕度條件適合紅蜘蛛發生之前，以溫度及濕度感應器啓動自動噴霧管路系統，作短時間歇性之噴霧即能得到很好的效果，同時因間歇式噴霧不會讓病害孢子有機會發芽，能阻絕病害之發生。

本系統可以電磁閥及時間控制器分區實施以降低設施成本，提高使用效能。

D.執行成果

(a)預防寒害之發生

八十七年度農試所於高雄六龜及屏東鹽埔裝設兩處各0.3及1.0公頃示範園，八十七年二月寒流過後寒害發生率幾乎等於零，而附近之對照組果園則落果十分嚴重，經濟效益非常顯著。

(b)預防焚風爲害果實及葉片

八十五、八十六年度農試所於台中新社、苗栗大湖及台東太麻里四戶枇杷農家

裝設此一樹冠上自動灑水防焚風系統，效果十分顯著。能夠有效保護果實及葉片，防止過度之蒸散作用及燒燙傷。

(c)防治紅蜘蛛之發生及危害

農試所內之枇杷園及溫室裝設此一以溫濕度感應器及時間控制器自動控制之噴霧系統後，紅蜘蛛類已不再發生，同時也少有病害發生，防治效果十分顯著。

(3)自動化噴霧降溫生理調節系統

一般而言在台灣具生產競爭力之果樹種類生產潛能並未完全發揮。就生理方面而言，左右產期的主要因素在花芽分化的誘引及促成開花結實上，而溫度是控制這些進程的主要環境因子。由於氣候多變化，穩定掌握微氣候因子就成了產業興衰的關鍵因素。

A.本系統之主要功能、實施目的及作物對象

(a)輔助相關配套技術克服低溫不足問題

在溫暖地區如台灣除了育成低需冷性品種來克服低溫不足的問題之外，農場管理上的操作配套對於降低樹體低溫需求也是很重要的。這些配套技術包括：控制樹體活力；整枝成45°或水平的型式；防止晚期的營養生長並延遲冬季修剪；使用化學催芽藥劑；遮陰及使用樹冠上微噴技術以蒸散降溫降低芽體溫度等。

(b)高溫期提供適低溫以改善生育條件或延緩採收

對環境因子中之溫度敏感而能以降溫誘引及穩定花芽分化的果樹作物如荔枝、柑桔、蓮霧等；或於果實著色期提供適低溫促進著色的果樹作物如柿、蓮霧、葡萄等；或於高溫採收期因果實快速成熟品質極易劣化，有採收時間之壓力的果樹作物如桃、李、梨、葡萄等。

B.作用原理及實施要項

(a)作用原理

利用水的物理性每一公克水汽化成一公克水蒸氣吸熱539卡，噴霧能夠實際有效降低果園樹冠內之溫度，對於有低溫需求的果樹可達到調節果樹生理效應的目的。決定水汽化成水蒸氣的速率在於空氣濕度的高低及風速的強弱，先決因素是濕度。因此，以空氣濕度感應器作為降溫的感應器，是合理的選擇。當需要噴水降溫時可設定空氣濕度值，讓空氣濕度感應器自動啟動馬達進行樹冠的管路噴霧，並以時間控制器管制間歇性的噴霧動作，以使噴出的水霧有充分的時間汽化節省用水並防止病害發生。

(b)實施要項

建立經濟有效的人工智慧型自動噴灑水霧蒸散降溫生理調節系統之必要設計及模式：經由試驗測知並建立欲調節作物之生理溫度資料後，設定溫度及相對濕度之生理預設值，作為調控作物生理之基準。基本上，一套經濟有效的人工智慧型自動噴灑水霧蒸散降溫生理調節系統應包括以下必需配備：

(i)獨立濕度系統避雷單元：當大氣濕度達100％相對濕度時，無條件自動切斷主控系統之電源，以免系統感雷或直接遭受雷擊。

(ii)主要控制系統單元：包括大氣溫度感應器、邏輯程控器組；表面濕度感應器、大氣濕度感應器及邏輯程控器組；時間控制器或樹體溫度感應處理器，邏輯程控器組及分區控制之邏輯模組。各型感應器與邏輯程控器經與已燒錄有不同工作模式之邏輯模組配合可執行最佳化之生理調

節模式。

當大氣溫度在設定之高低臨界溫度範圍內，而樹體表面濕度及大氣濕度低於其生理預設值時，系統啓動馬達進行噴水至樹體全濕後換區噴水。樹體表面濕度感應器於全區每輪次加濕後自動停止系統供水，以保留時間供樹體表面之水分蒸散吸熱降溫，俟樹體表面完全乾燥而樹體溫度開始回升一定溫度後，始容許下一輪次噴水模式的持續執行。因氣候多變化，所以何時需進行下一輪迴之噴水必須仰賴樹體溫度感應追蹤處理器，因為作物於自動噴霧系統動作後，經水分蒸發吸熱降低樹體溫度後，樹體溫度會再度緩慢上升。樹體溫度感應追蹤處理器可於樹體再度上升一定溫度後，下指令進行下一輪迴動作，逢機抓取最低再現溫度，能有效保持最低樹溫及節約水電。運作模式如下：

①當大氣溫度雖在高低二臨界溫度範圍內，而樹體表面濕度或大氣濕度已到達或高於其生理預設值時，系統不啓動給水。

②當大氣溫度在高臨界溫度以上或低臨界溫度以下，則不管樹體表面濕度和大氣濕度如何，系統也不啓動給水。

③當大氣溫度在高低二臨界溫度範圍內，而樹體表面濕度和大氣濕度仍低於其生理預設值時，系統啓動馬達給水。為降低設施成本、提高利用效率，本系統可以電磁閥及時間控制器分區實施噴霧動作。

C.執行成果

蓮霧以噴霧降溫誘引及穩定花芽分化的效果極顯著；甜柿、葡萄以噴霧降溫促進果實及早著色的效果極顯著；桃在高溫採收期因噴霧降溫能極有效延緩成熟並改善果實著色；草莓在傍晚噴霧能有效降溫並增加日夜溫差極顯著提昇果實甜度及大小。

參、結語

面臨全球市場的自由化及區域分工時代，台灣的水果產業已不能自外於這個體系，以往以單一技術取勝即能縱橫市場的時代已一去不返。未來面臨此一嚴峻競爭情勢，只有從整合產業的各個部門著手，以產業生計(經濟)為目標，從改善生產者及消費者生活著眼，兼顧環保及生態平衡，才能從農業經營的困境中解脫出來。果園多功能自動噴灌系統呼應上述之主張，結合市場、氣候、植物保護綜合防治、生理及栽培技術等各個部門之分工合作關係，作果園之精準管理以開發具永續發展相對優勢之重點產業，應是未來急需採行、推廣的觀念及作法。

肆、參考文獻

Allan, P., N. A. Cullis, M. J. Savage and K. E. Lightbody. 1994. Effects of evaporative cooling on macadamia and kiwifruit. J. of the Southern African Soc. Hort. Sci. 4(1):16-20.

Anderson, J. L., G. L. Ashcroft, E.A. Richardson, J. F. Alfaro, R. E.Griffin, G. R. Hanson and J. Keller. 1975. Effects of evaporative cooling on temperature and development of apple buds. J. American. Soc. Hort. Sci. 100(3): 229-231.

Andrews, P. K. 1995. Evaporative cooling of Fuji apples. Good Fruit Grower

46(12):32-34.

Barfield, B. J., G. M. White, T. C. Bridges and C. Chaplin. 1977. Improving water use in sprinkling for bloom delay. Transac. ASAE. 20(4): 688-691, 696.

Bauer, M., C. E. Chaplin, G. W. Schneider, B. J. Barfield and G. M. White. 1976. Effects of evaporative cooling during dormancy on 'Redhaven' peach wood and fruit bud hardiness. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101(4):452-454.

Buchanan, D. W., J. F. Bartholic and R. H. Biggs. 1977. Manipulation of bloom and ripening dates of three Florida grown peach and nectarine cultivars through sprinkling and shade. J. Amer. Soci. Hort. Sci. 102(4):466-470.

Chesness, J., C. Hendershott, and G. Couvillon. 1978. Evaporative cooling of peach trees to delay bloom. Georgia Agric. Res. 19(4):21-24.

Collins, M. D., P.B. Lombard and J. W. Wolfe. 1978a. Effects of evaporative cooling for bloom delay on 'Bartlett' and 'Bosc' pear tree performance. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103(2): 185-187.

Collins, M. D., P. B. Lombard and J. W. Wolfe. 1978b. The effects of evaporative cooling for bloom delay on 'Bartlett' and 'Bosc' pear fruit maturity and quality. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103(2): 187-189.

Erez, A. and G. A. Couvillon. 1983. Evaporative cooling to improve rest breaking of nectarine buds by counteracting high daytime temperatures. HortScience 18(4): 480-481.

Evans, R. G., M.W. Kroeger and M. O. Mahan. 1993. Evaporative cooling of apples by overtree sprinkling. American Society of Agricultural Engineers No. 93-2060. 11 pp.

Evans, R. G., M.W. Kroeger and M. O. Mahan. 1996. Evaporative cooling of apples by overtree sprinkling. Applied Eng. Agric. 11(1): 93-99.

Freeman, M. W. and G. C. Martin. 1981. Peach floral bud break and abscisic acid content as affected by mist, light, and temperature treatments during rest. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106(3): 333-336.

Gilreath, P. R. and D. W. Buchanan. 1979. Evaporative cooling with overhead sprinkling for rest termination of peach trees. Proceedings of the Florida State Horticultural Society. Publ. 1980. 92: 262-264.

Gilreath, P. R. and D. W. Buchanan. 1981. Floral and vegetative bud development of 'Sungold' and 'Sunlite' nectarine as influenced by evaporative cooling by overhead sprinkling during rest. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106(3): 321-324.

Goulart, B. L., P. H. Heinemann, T. Stombaugh, K. Demchak and C.T. Morrow. 1993. Automated irrigation for strawberry production. Acta Hort. 348: 196-206.

Hamer, P. J. C. 1980. A model to evaluate evaporative cooling of apple buds as a frost protection technique. J. Hort. Sci.

55(2): 157-163.

Hamer, P. J. C. 1981. The effects of evaporative cooling on apple bud development and frost resistance. J. Hort. Sci. 56(2): 107-112.

Hamer, P. J. C. 1983. Evaporative cooling of apple buds: the effect of timing of water application on bud development and frost resistance of the cv. Cox's Orange Pippin. J. Hort. Sci. 58(2): 153-159.

Hewett, E. W. and K. Young, 1980. Water sprinkling to delay bloom in fruit trees. New Zealand J. Agri. Res. 23(4): 523-538.

Klein, N. G., I., S. Lavee, G. Spieler and U. Barak. 1988. Improving grapevine bud break and yields by evaporative cooling. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 13(4): 512-517..

Kotze, W. A. G., J. A. Carreira, O. Beukes and A.U. Redelinghuys. 1988. Effect of evaporative cooling on the growth, yield and fruit quality of apples. The Deciduous Fruit Grower 38(1): 20-24.

Lipe, W. N., O. Wilke and O. Newton. 1977. Freeze protection of peaches by evaporative cooling in the post-rest, pre-bloom period. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102(3): 370-372.

Lipe, W. N., L. Baumhardt, C. W. Wendt and D. J. Raybush. 1992. Differential thermal analysis of deacclimating Chardonnay and Cabernet Sauvignon grape buds as affected by evaporative cooling. Amer. J. Enology & Viticulture 43(4): 355-361.

Looney, N. E. and A. D. McMechan. 1975. Experiments in delaying apple bloom. British Columbia Orchardist 15(6): 6-7.

Parsons, L. R., T. A. Wheaton and J. D. Whitney. 1982. Low volume microsprinkler undertree irrigation for frost protection of young citrus trees. Proceedings of the Florida State Horticultural Society. 1981, 94: 55-59.

Parchomchuk, P. and M. Meheriuk. 1996. Orchard cooling with pulsed overtree irrigation to prevent solar injury and improve fruit quality of 'Jonagold' apples. Hortscience 31(5): 802-804.

Olcott-Reid, B., T. B. Sutton and C. R. Unrath. 1981. Evaporative cooling irrigation influences disease, insect, and mite pests of 'Delicious' apples. J. Amer. Soci. Hort. Sci. 106(4): 469-474.

Raese, J. T. 1981. Increasing cold hardiness of apple trees by over-tree misting in early autumn. Hort Science 16(5): 649-650.

Spieler, G. 1994. Microsprinklers and microclimate. Intl. Water Irri. Rev. 14(4): 14, 17.

Strang, J. G., P. B. Lombard and M. N. Westwood. 1980. Effects of tree vigor and bloom delay by evaporative cooling on frost hardiness of 'Bartlett' pear buds, flowers, and small fruit. J. Amer. Soci. Hort. Sci. 105(1): 108-110.

Swartz, H. J., L. J. Edgerton and L. E. Powell, Jr. 1977. The potential of evaporative cooling to delay bud break and dehardening of deciduous fruit trees in New York. Proceedings of the Annual

Meeting - New York State Horticultural Society. 122: 172-174.

Unrath, C. R. 1973. Interaction of irrigation, evaporative cooling, and ethephon on fruit quality of 'Delicious' apple. HortScience. 8(4): 318-319.

Unrath, C. R. and R. E. Sneed. 1974. Evaporative cooling of 'Delicious' apples the economic feasibility of reducing environmental heat stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 99(4): 372-375.

Unrath, C. R. 1975. Cool off for better apples. Amer. Fruit Grower 95(8): 11-12.

Valentine, B. J. 1980. Evaporative cooling of strawberries in the field. Agric. Gazette New South Wales 91(3): 14-15.

Young, K., N. H. Galbreath and E. W. Hewitt. 1979. A system for regulating sprinkling during evaporative cooling of apple buds to delay bloom. J. Agri. Eng. Res. 24(2): 209-213.

Water Management in Precision Orchard —The Application of Multifunctional Automatic Spraying System in Orchard

Jau-Chang Shih
Department of Horticulture, Taiwan Agricultural Research Institute, COA,
Taichung Hsien, Taiwan (ROC)
E-mail:jcshih@wufeng.tari.com.tw

Abstract

The function of the developed automatic multifunctional spraying system in orchard is to force the earlier harvest and to ensure the better quality and yield of fruits through improving growth environment and physiological regulation. Insect and disease control can also be improved by sophisticated use of this system. This system is a very useful tool for integration fruit production.

Key words: Precision, Orchard, Water Management, Multifunctional, Automatic Spraying System.

農業氣象及農業水資源之應用與管理
農作物水分狀態及光譜遙測技術之利用
157-170, 2002

13 農作物水分狀態及光譜遙測技術之利用

陳榮坤、楊純明
行政院農委會農業試驗所農藝組
E-mail:cmyang@wufeng.tari.gov.tw

摘要 ---------- 158
壹、前言 ---------- 158
貳、水分在農作物體內的生理功能 ---------- 159
參、植體水分狀態的估測方法及指標 ---------- 160
肆、作物植株葉片反射光譜 ---------- 161
伍、田間農作物植被反射光譜 ---------- 162
陸、植被光譜特徵與植體水分狀態的關係及其利用 ---------- 164
柒、結語 ---------- 166
捌、參考文獻 ---------- 167
英文摘要 ---------- 170

13 農作物水分狀態及光譜遙測技術之利用

陳榮坤、楊純明
行政院農委會農業試驗所農藝組
E-mail:cmyang@wufeng.tari.gov.tw

摘要

田間水分管理與利用是農作物栽培生產過程中相當重要的一環，如何適時適法的供給田間作物適量的水分，兼顧作物生產需求及水資源有效利用，是世界各先進國家積極探討的課題。本文回顧部分文獻，於文中陳述一些可以作爲應用的研究結果，特別提到近年來光譜遙測技術在作物水分狀態估測上的研究進展。本文並建議農業部門的最佳因應對策，就是加強農作物生產的水分管理與利用相關研究，找出各方均能接受的策略以求充分而有效的運用寶貴水源。

關鍵詞：光譜遙測技術、水資源、水分管理與利用、水分狀態、反射光譜。

壹、前言

大自然是由有機物和無機物所構成，生生不息循環不已，水正巧是連接的媒介，扮演溝通和啓動的橋樑。在有機物的植物界，水是植物體內一項非常重要的組成分，佔植體鮮重的70～90％不等，具有支持、運輸、代謝、生長等多種生理生化功能。農作物植株體內水分的可利用性，是植株生存的限制因子，也是農作物生產過程中普遍遭逢的限制因素。農作物種子發芽及植株的生長、發育、代謝活性乃至於最終產量的高低與品質的優劣，均明顯受到體內水分狀態的影響。水分供應不足時植株便進入凋萎狀態，若情況長期持續，農作物即可能生育停頓、老化、甚至於死亡。相反的，當水分供應過量，植株也無法正常生長。在長期間土壤積水或淹水狀態下，可能造成植株根部無法呼吸或植體萎凋、脫水、潰爛，嚴重時亦造成死亡。因此，農作物的一生，受到水的影響極大。

不同作物種類所需要的水量有所差別，同一作物在生育期間也依生育階段的不同而異，其需水量(water requirement)因時因地變化不一。例如穀類作物生育初期需水量多，隨生育期的推展而逐漸降低，大多在抽穗或開花期達到最低，再隨著成熟而增加。而抽穗開花期的需水量低下，一方面顯示作物在此時期能夠最有效的利用水分，另一方面也反應作物在此時期最

容易受到缺水或乾旱的影響，進而降低穀實產量及品質。

臺灣地區雖屬海島型氣候，但特殊的地理與地型條件以及降雨量分佈的不均，使得水資源相當有限，水資源的有效管理與利用一直是潛在問題。長期以來地球生態環境遭受嚴重破壞，全球氣候變化異常，氣候變遷快速，降水頻率及分佈更顯混亂而極端，水資源日益缺乏而乾旱的發生卻與日俱增。此外，全球各地工商業的急速發展，加上民生用水的大量需求，已使能分配於農業利用的水資源日趨減少，更加突顯水資源管理與利用的重要性。總此情境，生活在臺灣地區的國人更應當重視水資源有關議題，就農業部門而言，則在於如何能夠在水資源不足狀況下開拓及涵養水源，同時謀求用水效率的提升以發揮作物生產最大潛能。

依據行政院經濟部之統計，臺灣地區水資源總量中農業灌溉用水約佔60-65%。然而，經過詳細追究分析，其實農業灌溉用水中的約64%水量屬於可直接回收的『活水』，一部分(約42%)補注地下水源，另一部分(約22%)回歸入地面水源(如溝渠、河川、湖泊、大海等)。後者流經地面時，可以多功性的淨化水質、改善農村與都市景觀、維護親水生態環境等，具有生活與生態上的意義。在所謂“不可回收”消耗於農業生產的約36%水量中，有一部分(通常小於5%)結合成作物體質之成分而貢獻於作物生產，另一部分(約95%)蒸發散進入大氣，投入於調節天氣與氣候及增加降水機率。因此，從水循環的觀點，農業灌溉用水最終回歸於地球水資源庫，絕對沒有無理消耗或多餘浪費情事，其在農村之生產、生活及生態上的“三生功能”更是無以取代。居此在臺灣邁入工商業導向的現階段，「農業水資源合理化利用」確實是一項國家經濟發展的重要議題，但是重點並不是在於農業灌溉用水占用比例的高低，而是如何提高水分在農業生產利用上的效率與效能，這也可以是當前農業試驗研究面臨的重點課題，值得農政和農業試驗研究單位重視與加強。

貳、水分在農作物體內的生理功能

一般而言，在作物代謝旺盛的器官(如嫩葉、嫩果等)含水量較高，在生理活性薄弱的器官(如種子、孢子等)則含水較少。作物細胞各種生化反應幾以水爲介質或溶劑才能進行，所以必須在充足水分含量下，原生質才能正常進行各項生理活動。其次，水還可以維持細胞膨壓，使細胞伸長、膨大，植株才能挺立、開展葉片，承受陽光進行光合作用。缺水導致膨壓降低時，這些生長現象即減緩或停滯。

水也是光合作用的基本原料之一，可見光和紫外光的能量經葉片上的葉綠體吸收啓動光合作用，經由水解反應展開各項生化、生理活動，並釋放出氧氣供需氧性生物進行呼吸之用。又水的高汽化熱(20℃時爲2,454 $J\ g^{-1}$)及高比熱(4.187 $J\ g^{-1}\ ℃^{-1}$)的物理特性，有利於發散植體自外界環境所吸收的輻射熱(能)，避免體溫大幅上升造成負面危害。再者，水的表面張力、內聚力及吸附力在植體內的運輸作用中更具有重要意義，帶動植體內化合物的循環。水分子的極性，亦可使許多化合物形成水合狀態，使原生質膠體維持穩定，在維繫植體

各項機能上扮演關鍵角色(Gardner *et al.*, 1985)。經由上述，水的重要性及必要性可見一般。

參、植體水分狀態的估測方法及指標

爲利於水資源有效管理並使植株在良好環境下生長，如何簡捷而準確的測定植體內的水分狀態，俾適時供給水分提供作物生長以節約用水，實爲農作物生產及水資源管理與利用的一大要項。

1.外觀形態徵狀

植體內水分狀態可以根據農作物植株外觀、形態來監測或估測，此種方法通常藉由特定的徵狀表現作爲辨識指標，如嫩芽變紅、葉色轉爲濃綠、葉片捲縮、葉片角度改變、葉片韌性增加等，均是常用的判斷徵狀(楊及張，1991)。這些利用外觀形態的辨識方法簡便易行，但準確性較差、主觀性強。

2.水分潛勢

準確性較佳的植體水分辨識指標，多以檢驗植體的生理狀態爲主，如葉片(細胞)水分潛勢及氣孔開度等，均可明確表示植體內的水分平衡狀況。水分潛勢或簡稱水勢(water potential, Ψp)的概念於1938年時由Meyer所提出，爲作物植體內或土壤中水分能量狀態的最佳指標，其數值乃指與純水化學勢間的下降量。Meyer以擴散壓差（diffusion pressure deficit , DPD）的概念表示細胞置於純水中水分經由擴散進入細胞之壓力，以DPD＝OP－TP表示，式中OP爲細胞內容物滲透壓(osmotic pressure)，TP爲細胞內的膨壓(turgor pressure)，三項壓力名詞均爲正值，此一概念被廣泛應用達20年之久。1960年Slatyer and Taylor以熱動力學爲基礎，利用水分自由能量之損失來說明植體內水分之流向，將水勢(Ψp＝Ψs+Ψp)以滲透勢(osmotic potential, Ψp)及壓力勢(pressure potential, Ψp)的和來表示，植物細胞中Ψp與Ψs爲負值，Ψp通常爲正值。但對於植體木質部，處於蒸散狀態下其Ψp多呈負值。這套理論使得不論是土壤或植體的水分狀態，均可依據熱動力學的基礎以水勢進行討論。水勢的量測方法甚多，如組織重量變化法(tissue weight-change method)、溫差熱電偶乾濕球濕度計測定法(thermocouple psychrometry)、冰點降低法(cryoscopic method)、初發原生質分離法(incipient plasmolysis)及用於測量樹液或莖液的壓力室法(pressure chamber)等，可分別適用於不同狀況下進行水分潛勢的量測(Tai and Zeiger, 1998)。

3.其他方法

除了測量植體水勢之外，還有在樹液流中設定指標以測定野外樹木的樹液流速度的熱脈衝波(heat pulse)法、依據植體直徑變動間接估算水勢的莖直徑測量法(stem diameter measurement)等(黃，2000)，可供利用於評估植體水分狀態。

惟不論是形態指標、量測植體水勢或氣孔開度，這些方法雖然簡單容易，但結果的取得仍然太慢或僅止於在實驗室使用，無法快速而大面積的反應植體或族群植被的水分狀態。

Tanner(1963)提出以冠層溫度作爲植物

缺水指標後，冠層溫度法成爲診斷作物水分狀態的一項重要技術。30多年來研究人員相繼提出冠層溫度變異法、參考溫度法、冠層與氣溫差法(stress days degree)及作物缺水指標法(crop water stress index)等，皆以植冠(植被)的溫度爲基礎(Penuelas *et al*., 1992, 1993)。這些診斷方法雖然具有快速而大面積估測的特點，但是容易受到環境的影響，有時候溫度差異不足以說明農作物水分在時間及空間上隨著環境的巨大變化。

近年來，隨著分光光譜解析度的提升，許多研究也顯示農作物植體水分狀態的變化與其光譜反射率(比)間具有密切的相關性，使得利用光譜檢測作物水分的可行性增高。由於光譜遙測技術具有快速、方便並且可以大面積反應植體或族群植被狀態的優點，對於農作物的水分管理與利用將會有相當助益。

肆、作物植株葉片反射光譜

大氣層外的太陽光經大氣層中的水汽、二氧化碳、臭氧及其它微塵粒子的攔截吸收或反射後，到達地面的光輻射大部份爲可見光與近紅外光及少量的紫外光，其他波長的光輻射則微不足道。以能量分佈來說，主要是在狹窄的可見光波段(約佔50%)，其他則爲紫外光(約佔7%)、紅外光(約佔43%)。液態水分對太陽光輻射有很高的吸收率，Curcio and Petty (1951)曾指出水分的吸收光譜在760、970、1190、1450及1940 nm有較高的吸收現象。惟在植體內，太陽光遭受不同物質及構造的影響，其吸收光譜往往有不同的表現，在紅外光區尤甚，依不同作物有別。

太陽光是地球上絕大部分生物能量的來源，以農作物來說，太陽輻射接觸到葉片後，主要有反射(reflect)、吸收(absorb)及穿透(transmit)等三種運動方式，不同波段光譜進入葉片後的作用方式各異。這些輻射光能進入植體後，主要受細胞色素、水分、細胞間隙、細胞壁及其它生化物質的影響而改變運動方式，不同作物也會因爲葉片構造及組成分的不同造成反射光譜各異。其中，可見光光譜(400-700 nm或400-740 nm)及短、中波紅外光波段(700-3000 nm)明顯受植體內部生理狀態的影響，這些生理狀態主要是隨著葉片葉綠素含量、葉片構造及水分含量的改變而變化(圖1)。

葉片光譜中，可見光波段部分主要受植體內的細胞色素的影響。在綠色葉片中，由於葉綠素的強烈吸收利用，而呈現低反射率及低穿透率。眾所周知葉綠素吸收紅光及藍光以進行光合作用，葉綠素含量愈高，反射率愈低；相對而言，葉綠素對於可見光綠光部位的吸收甚少，這也是植物葉片表現出綠色的原因。當葉片遭受環境逆境或生理老化時，葉綠素衰解含量緩慢降低，類胡蘿蔔素及葉黃素成爲葉片中的主要色素，吸收藍光而反射綠光及紅光，綠光及紅光綜合表現的結果則呈現出黃化徵狀。

與可見光相較之下，近紅外光波段(700-1300 nm)的能量較低，無法被細胞色素吸收以利用於光化學反應，而表現出高反射率及高穿透率的光學行爲，其實際的吸收、反射或散射的比率因不同作物種類或不同葉片構造而異。1971年Woolley發現大豆葉片對於日射光的近紅外光波段僅吸收4%，其餘96%遭受反射或穿透。Sinclair *et al.* (1971)也曾指出葉內構造是影響植體

內近紅外光光譜反射的主要因素，其中細胞間隙、細胞壁的反射，大幅降低了近紅外光光譜的吸收率。楊及蘇(1997)在水稻的研究上，亦發現水稻之反射光譜表現類似於上述，呈現典型綠色植物的反譜。

介於1300-3000 nm的短、中波紅外光波段受葉內水分影響最大(Carter, 1991)，其反射率較近紅外光波段爲低。主要被水分吸收而呈現低反射比，其次則是葉內其它生化物質含量的影響(Gao and Goetz, 1994)，如木質素、纖維素、澱粉及蛋白質等。當葉片水分變化時，1450、1940及2500 nm的光譜表現甚爲敏感。

由前述可知，植體中的水分也會吸收照射到葉片的光輻射，而減低其光譜反射率，水分對光譜的吸收主要發生在短、中波紅外光區，但其影響也延伸到可見光區，惟不若葉綠素般強烈，例如可見光區雖然有葉綠素的干擾，但在480及680 nm部位附近也有對水分敏感的表現。

因此，農作物葉片光譜與葉內水分狀態有一定之相關性，若能利用植物光譜分析技術，在農作物發生肉眼可見水分逆境徵狀之前，早期預估植株所處的逆境狀態，將有助於及時對農作物進行適當水分管理而減少水分逆境對農作物的傷害，避免遭受經濟上的損失。

伍、田間農作物植被反射光譜

另外，以田間農作物植被而言，植被光譜反射率(比)是田間作物植株與栽培環境的綜合表現，反射光譜曲線爲包含正常、處於逆境或老化的葉片、莖稈、花、子(果)實、土壤背景及田間灌溉程度等光學特性的混合結果，其中以綠色葉片影響最大。作物植被中葉片層層疊疊，相互遮蓋，其光譜反射曲線與單一葉片當然有所差異。

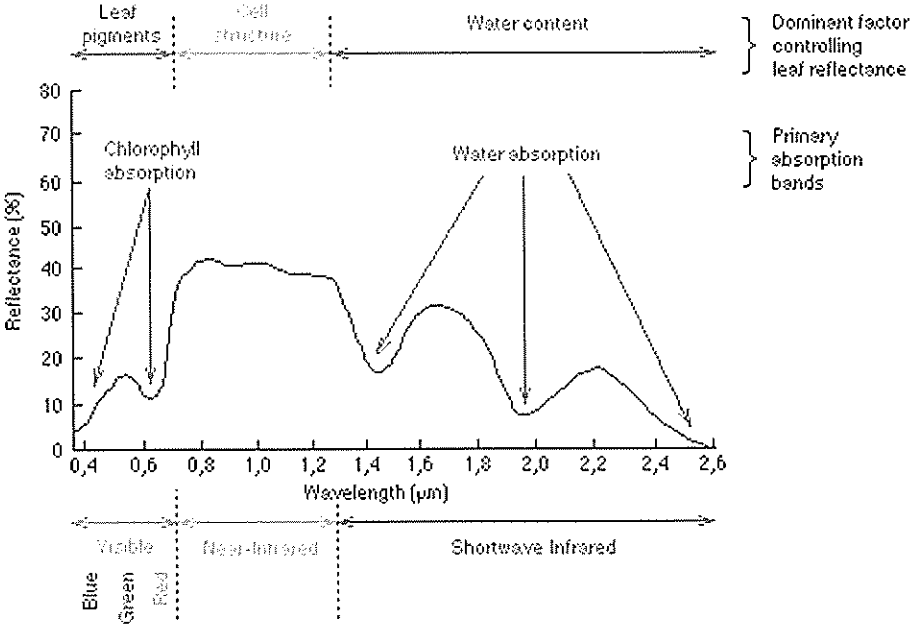


圖1. 各性狀在綠色植體中的光譜表現模式。(摘取自University College London, Department of Geography, Staff Homepages, http://www.geog.ucl.ac.uk/, 2001)

Wolley(1971)以大豆爲材料，量測不同波段光譜(450-2700 nm)在不同葉片數量下的反射比變化，結果發現重疊葉片數愈多，光譜反射比在可見光波段(450-800 nm)愈低，近紅外光波段(800-2700 nm)段愈高，但可見光波段反射比降低的程度很小，近紅外光波段反射比增加甚多，惟葉片數量與光譜反射比間的關係並非直線相關。Hoffer(1978)指出，植被光譜近紅外光波段反射比較高的原因是因爲穿透上方第一層葉片的近紅外光，在接觸第二層葉片後，有某些部份反射回第一層葉片的原因(圖2)。

此外，在作物生育的不同階段，由於田間狀態的變化如土壤翻耕、萌芽、生長、開花、結實及老化，光譜曲線的呈現方式均有不同。甚至不同作物種類的葉片角度差異以及季節變化的太陽入射角度，都會造成太陽輻射與葉片接觸時角度的改變，進而影響光譜反射率(比)的變化。因此，田間作物所處環境中各種會影響田間作物植被光譜反射曲的因素，均是在進行田間遙測時所應考慮的因素。

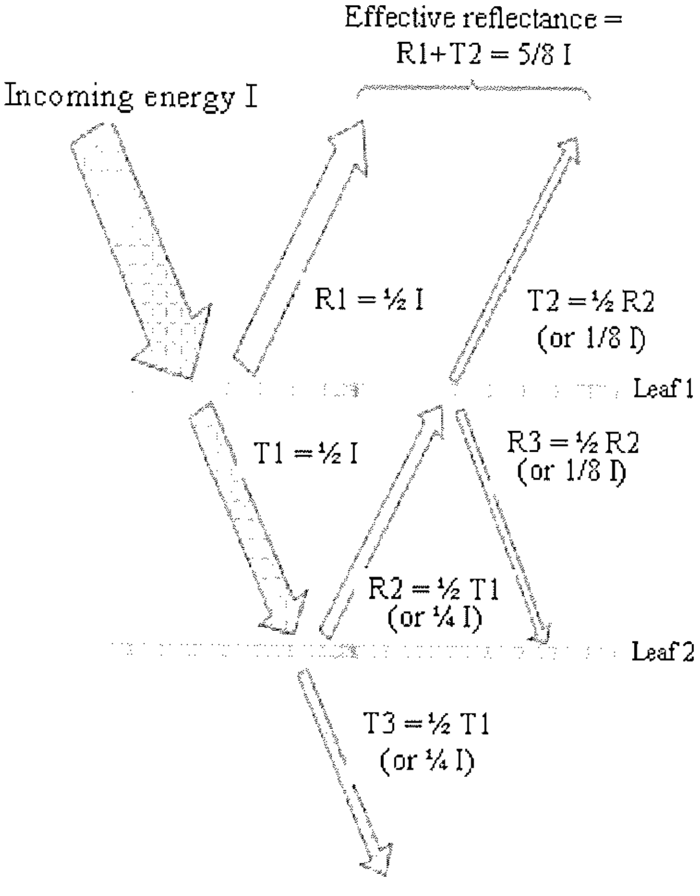


圖2. 植體多層葉片對植被近紅外光反射率的影響。(I=Incoming energy, T=Transmitted energy, R=Reflected energy. 摘取自Hoffer, 1978)

陸、植被光譜特徵與植體水分狀態的關係及其利用

由於遙測技術對於田間作物的水分管理與利用具有很大的助益，爲使農作物光譜分析技術應用到田間水分管理與利用上，許多學者開始深入瞭解植體光譜與水分狀態的關係，並致力於植被光譜特徵與作物水分狀態間關係的建立。

Thomas *et al.* (1971)利用充滿膨壓的棉花葉片令其逐漸缺水乾燥，以觀察葉片光譜在400-2500 nm間反射率變化情形，發現當膨壓降低，則葉片光譜反射比增加。但是不同光譜波段的增加趨勢並不一致，其中以可見光部位的增加程度最小，且當相對膨壓降到70%以下時，可建立模式以估測棉花葉片水分。Jackson(1985)也指出，缺水棉花的光譜表現與常態非缺水狀態下明顯不同。Ripple(1986)利用菜豆進行植被覆蓋率、葉片相對水份含量及葉片水分潛勢的改變對於葉片光譜反射率的影響研究。結果指出，紅光部位(630-690 nm)的反射率對於相對水分含量及植被覆蓋率均甚爲敏感；近紅外光部位(760-900 nm)與植被覆蓋率顯著相關，但與相對水分含量相關性甚低；而中波紅外光部位(2080-2350 nm)則與植被覆蓋率及相對水分含量有高度相關；葉片水分潛勢則對紅光及中波紅外光有高度相關。Michio *et al.*(1989)也曾以960 nm處的倒數光譜監測水稻的缺水狀態。Penuelas *et al.*(1993)利用R970 nm/R900 nm比值作爲小麥水分狀態的指標。

隨著分光光譜解析度的提升，豐富而詳細的光譜資料可以提供作物在缺水時的各光譜波段的實際變化，加速了光譜與植體水分狀態的研究。近年來，也逐漸利用高解析光譜資料發展出數種指標以檢測農作物葉片或植被的水分狀態。

1.植體健康狀態指標

理想的農作物應含有充足水分及高葉綠素含量的大形葉片，俾利於發揮生長潛力。農作物綠色植被反射光譜中，對可見光部分之紅光波段吸收最強，因此紅光波段的反射率(比)最低，當紅光波段反射率愈低，顯示單位土地面積內的葉綠素含量愈高。近紅外光波段反射率主要受葉內構造、植被結構及植被覆蓋率的影響，當細胞膨壓增大，葉內細胞壁及細胞間隙對近紅外光的反射愈強，植被結構愈複雜，覆蓋率愈高，近紅外光的反射率也會增高(Hoffer, 1978)。所以，具有高近紅外光反射率(NIR)及低紅光反射率(RED)的作物反射光譜，代表其族群擁有較佳且健康的綠色植被覆蓋率。Jordan(1969)以RVI(ratio vegetation index, 植被指數比)作爲作物植株健康與否的指標：

$$RVI = NIR / RED$$

當RVI値愈高，顯示代表高植被覆蓋率的NIR較大，而代表高光合作用率的RED較小，因此綠色植被覆蓋率高且光合作用旺盛。高RVI値又隱示植被膨壓高而生長旺盛。然RVI的値並無界限，其發散邊區不易進行比較，因此Rouse *et al.*(1974)提出NDVI(normalized difference vegetation index, 標準差植被指數)以取代RVI。基本上NDVI與RVI在功能上是相同的，只是値的範圍不同，NDVI値介於+1至-1之間，數値收斂易作比較。

NDVI＝(NIR－RED) / (NIR＋RED)

NDVI的範圍：綠色植體0 ＜ NDVI ≦ 1，土壤：0 ≦ NDVI ≦ 1，水分：-1 ≦ NDVI ≦ 1。事實上NDVI是一個物質光譜狀態的綜合指標，被廣泛使用在反應綠色植體、土壤及水分的實際狀況。以植體水分來說，NDVI愈大，則植體水分含量愈高。Yang and Su(2000)也曾指出，水稻NDVI與土壤水分潛勢間具顯著相關，當土壤缺水程度愈高，水稻植被的NDVI值愈低，可利用NDVI間接了解作物水分狀態。

2.單一特徵波長與植體水分狀態的關係

由於葉片水分潛勢對紅光及中波紅外光有高度相關(Ripple, 1986)，在其它研究文獻中也發現，農作物植體在760、970、1190、1450、1650、1900、1940及2250 nm附近的光譜反射率可反映植物的水分狀態(Curran, 1989; Danson et al., 1992; Gao and Goetz, 1994; Raymond and Roger, 1999)。如能利用單一特徵波長即可建立與水分狀態的相關性，並進行水分狀態的估測，將具有甚高之實用性。

Yang and Su(2000)在水稻生育期間進行不同土壤缺水等級對水稻族群植被光譜的影響研究，將水稻田間土壤水分含量自正常供給降至-1.60 MPa，並量測缺水過程中植被在350-2400 nm光譜範圍的反射比。發現植被光譜反射比與不同缺水等級進行直線相關分析後，相關係數(correlation coefficient, r)在不同波段的表現呈現不同趨勢(圖3)。不同波段反射比與土壤水分潛勢之關係，呈現不等程度之負相關。若將植被光譜範圍分為可見光(350-740 nm)、近紅外光(740-1300 nm)、短波紅外光(1300-1800 nm)及中波紅外光(1800-2400 nm)等四個波段後，各波段中最佳相關係數分別為-0.90(6973nm)、-0.63(1177 nm)、-0.95(1508 nm)及-0.98(2114 nm)。顯示經由水稻植被光譜單一特徵波長(以2114 nm為佳)的反射比值，即可估測田間土壤水分潛勢，作為灌溉與否的依據。

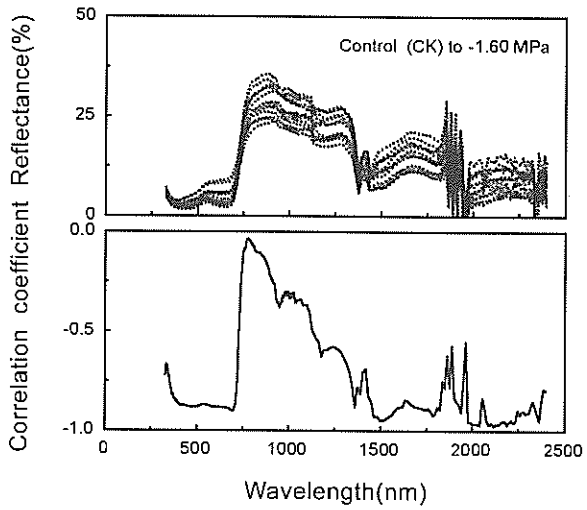


圖3. 土壤缺水逆境下的水稻植被光譜(350-2400 nm)反射比及其與土壤水分潛勢之相關係數。(摘取自Yang and Su, 2000)

3.植體水分狀態之光譜指標

Penuelas *et al.* (1993)指出，以單一葉片來說，1300-1500 nm波段的反射率對葉片水分有高度的敏感性，但當植體全株或族群植被水分吸收強烈時，其光譜表現相差甚小，可能不適於準確測量植體或植被水分狀態，因此提出對水分吸收敏感度稍弱的950-970 nm波段取代。在此近紅外光波段，當水分吸收強烈時，能夠表現出植體內水分狀態的差異，並進一步將970 nm與水分不吸收但與葉片構造有直接相關的900 nm做一比值PWI(plant water index, R970/R900)，作爲估測植體水分的指標，顯示出PWI與植體相對水分含量、葉片水分潛勢、氣孔導度及細胞壁彈性的改變均有相關性存在（Penuelas *et al.*, 1996）。Penuelas *et al.*(1997)報告再指出，PWI的倒數WI(water index)經NDVI的標準化後(WI/NDVI)，其與植體水分的相關性更高。惟WI在LAI(leaf area index)高度變化的情形下，仍無法顯現整體植被的水分差異。Champagne *et al.*(2001)發現隨著植株的生長，植被水分吸收波長敏感波段(trough)由940 nm逐漸移轉到980 nm(圖4)，940 nm對單一葉片的水分吸收太弱，無法表現此一現象。另又指出WTI(water trough index）在LAI呈現變異的情形下，與植被的葉片水分含量有高度相關：

$$WTI = R900/R_{(min\ 940\text{-}980)}$$

由於WTI並無法去除植冠內部結構的干擾，使得WTI與LAI之間的關係仍有差異。故若要以WTI作爲植物水分逆境的指標，則必須將其標準化。

柒、結語

田間水分管理與利用是農作物栽培生產過程中相當重要的一環，如何適時適法的供給田間作物適量的水分，兼顧作物生產需求及水資源有效利用，是世界各先進國家積極探討的課題。對於水資源有限的臺灣地區，各方分從不同的立場及角度提出對農業用水的見解，一直引起喋喋不休的爭議。農業部門的最佳因應對策，就是加強農作物生產的水分管理與利用相關研究，找出各方均能接受的策略以求充分而有效的運用寶貴水源。

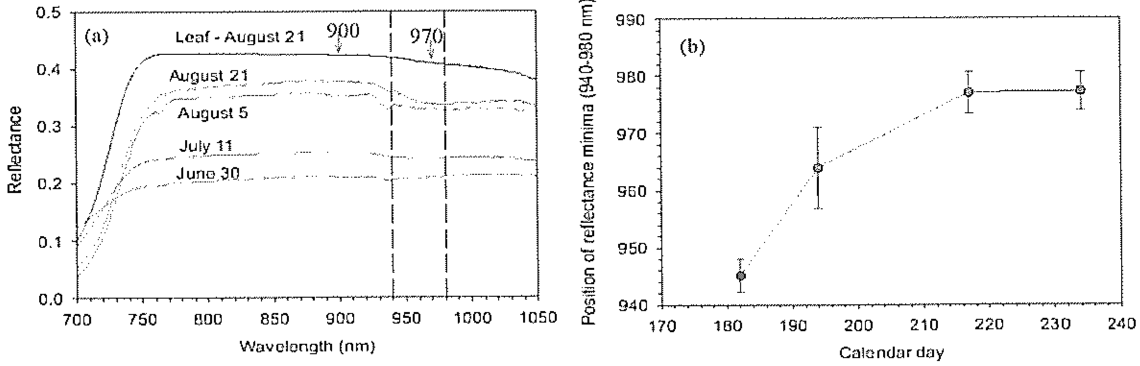


圖4. (a)植體水分變化與植被光譜曲線的關係。(b) 植被水分吸收波長敏感波段(trough)隨著生育進展的變化情形。(摘取自Champagne *et al.*, 2001)

本文回顧部分文獻，於文中陳述一些可以作爲應用的研究結果，特別提到近年來光譜遙測技術在作物水分狀態估測上的研究進展。由於農作物葉片及植被的光輻射反射率(比)主要隨著葉片的生化組成與物理結構而改變，其反射光譜及光譜特徵之篩檢與利用有其學理基礎。而且光譜遙測的非破壞性、快速及大面積監測特點，以及高時效性優點，具有相當的實用潛力，可以進行田間農作物水分狀態的估測與診斷。然而除了近地面遙測平台之外，航空及太空遙測平臺受環境影響甚大，空氣中的水汽及微塵、感測器的觀測角度、太陽光輻射的入射角、以及地理幾何校正等，均會造成遙測的干擾，在眞正論及應用前必須解決。

捌、參考文獻

黃彥三。2000。樹木水分狀態及樹冠截雨效應非破壞連續監測技術之研發。林業研究專訊第35號。http://www.tfri.gov.tw/news/35/6.htm。

楊純明、張富洲。1991。水稻逆境之探討。科學農業39(9-10):219-224。

楊純明、蘇慕容。1997。水稻植冠反射光譜之分析。中華農業氣象 4:87-95.

Carter, G.A. 1991. Primary and secondary effects of water concentration on the spectral reflectance of leaves. Amer. J. Bot. 78: 916-924.

Champagne, C., P. Elizabeth, B. Abdou and B.S. Ian. 2001. Mapping crop water stress: Issues of scale in the detection of plant water status using hyperspectral indices. Agriculture and Agri-Food Canada, Canada.

Curcio, J.A. and C.C. Petty. 1951. The near infrared absorption spectrum of liquid water. J. Opt. Soc. Amer. 41:302-304.

Curran, P.J. 1989. Remote sensing of foliar chemistry. Remote Sens. Environ. 30: 271-278.

Danson, F.M., M.D. Steven, T.J. Malthus and J.A. Clark. 1992. High-spectral resolution data for determining leaf water content. Intl. J. Remote Sens. 13:461-470.

Gao, B. and A.F.H. Goetz. 1994. Extraction of dry leaf spectral features from reflectance spectra of green vegetation. Remote Sens. Environ. 47:369-374.

Gardner, F. P., R.B. Pearce and R.L. Mitchell. 1985. Physiology of crop plants. p.76-91.The Iowa State University Press, Iowa, USA.

Hoffer, R.M. 1978. Biological and physical considerations in applying computer aided analysis techniques to remote sensor data. p.227-289. In: Remote Sensing: the Quantitative Approach. P.H. Swain and S.M. Davis, eds., McGraw Hill, New York.

Jackson, R.D. 1985. Spectral response of cotton to suddenly induced water stress. Intl. J. Remote Sens. 6:177-185.

Jordan, C. F. 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. Ecology 50:663-666.

Michio, S. and A. Tsuyoshi. 1989. Seasonal visible, near-infrared and mid-infrared spectra of rice canopies in relation to

LAI and above-ground dry phytomass. Remote Sens. Environ. 27: 119-127.

Penuelas, J., R. Save, O. Marfa and L. Serrano. 1992. Remote measured canopy temperature of greenhouse strawberries as indicator of water status and yield under mild and very mild water stress conditions. Agric. For. Meteor. 58:63-77.

Penuelas, J., I. Filella and C. Biel. 1993. The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status. Intl. J. Remote Sens. 14:1887-1905.

Penuelas, J., I. Filella, L. Serrano and R. Save. 1996. Cell wall elasticity and Water Index (R970 nm/R900 nm) in wheat under different nitrogen availabilities. Intl. J. Remote Sens. 17:373-382.

Penuelas, J., J. Pinol, R. Ogaya and I. Filella. 1997. Estimation of plant water concentration by the reflectance Water Index WI(R900/R970). Intl. J. Remote Sens. 18:2869-2875.

Raymond, F.K. and N.C. Roger. 1999. Spectroscopic determination of leaf biochemistry using band-depth analysis of absorption features and stepwise multiple linear regression. Remote Sens. Environ. 67: 267-287.

Ripple, W.J. 1986. Spectral reflectance relationships to leaf water stress. Photogram. Eng. Remote Sens. 52(10):1669-1675.

Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering and J.C. Harlan. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradition (greenwave effect) of natural vegetation, NASA/GSFC Type III, Final Report, Greenbelt, MD, USA. 1-371.

Slatyer, R.O. and S.A. Taylor. 1960. Terminology in plant-soil-water relations. Nature 187:992-924.

Tai, L. and E. Zeiger. 1998. Plant Physiology. p.72-75. The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc., New York.

Tanner, C. B. 1963. Plant temperature. Agron. J. 50:210-211.

Thomas, J.R., L.N. Namken, G.F. Oerther and R.G. Brown. 1971. Estimating leaf water content by reflectance measurements. Agron. J. 63:799-802.

Sinclair, T.R., R.M. Hofer, M.M. Schreiber. 1971. Reflectance and internal structure of leaves from several crops during a growing season. Agron. J. 63:864-868.

Woolley, J.T. 1971. Reflectance and transmittance of light by leaves. Plant Physiology 47:656-662.

Yang, C. M. and M. R. Su. 2000. Analysis of spectral characteristics of rice canopy under water deficiency. p.13-18. In: Proceedings of the 21st Asian Conference on Remote Sensing. Vol.1. Dec. 4-8, 2000. Taipei, Taiwan.

Crop Water Status and Applications of Spectral Remote Sensing

Rong-Kuen Chen and Chwen-Ming Yang
Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute,
Taichung Hsien, Taiwan (ROC)
E-mail:cmyang@wufeng.tari.gov.tw

Abstract

Water resource management and application is the crucial element in the success of farming. The key point for crop cultivation is the provision of adequate amount of irrigation water with the right way in the right time. Thus, crop production may be able to meet the food demand as well as to fit the requirement of effective water use. These issues are important to the developed countries including Taiwan. This paper reviews the literature in the related areas to give suggestions for both policy making and research sectors. It is hoped that spectral remote sensing technology may be more vigorously pursued and applied in the near future for the benefit of water resources management and application.

Key words: Spectral remote sensing, Water resource, Water management and application, Water status, Reflectance spectrum.

名詞索引

土壤　4, 86, 87, 88, 90, 92, 98, 116.
土壤水分管理　128.
反射光譜　157-166.
水分狀態　157, 158, 160-166.
水分逆境　96-99, 122, 163, 166.
水分張力　5, 116, 118, 120, 122, 123,127, 149.
水分管理　158, 160, 162, 164, 166.
水分管理與利用　6, 158, 160, 164, 166.
水文模式　3, 4, 8, 11, 12, 16, 18, 20.
水資源　2, 3, 4, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 18, 20, 22, 51, 70, 83, 86, 91, 92, 106, 110, 112, 113, 114, 116, 144, 158, 159, 160, 166.
水稻　4, 63, 66, 86, 88, 90, 92, 94, 105-124, 127, 128, 162, 164, 165.
可溶性蛋白質　5, 132-135, 138.
台灣北部　70.
台灣雲杉　5, 132.
光合作用能力　5, 132, 133, 134, 139.
光譜遙測技術　6, 157-164.
全球變遷　3, 4, 8, 10-13, 16, 18, 20.
地下水補助　11, 12.
多功能　5, 28, 143, 144, 147, 150, 152.
自動灌溉噴霧系統　5, 143, 144.
作物水分利用　86, 92.
作業程序　26, 28.
災害　2, 4, 26, 28, 30, 32, 34, 35, 37, 39,40-63, 110.
亞高山　5, 132, 133.
亞熱帶　4, 5, 38, 132, 133, 145, 147.
季節　163.
果園　5, 143, 144, 148-152.
河川流量　10-12, 16, 17, 18.
雨量統計　70.
毒水　2.
活水　2, 158.
突變天氣　4, 25, 26, 27, 28, 32, 33.
耐旱性　96, 98.
氣候　2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 20, 21, 53-59, 65, 70, 86, 91, 93, 107, 109, 111, 125, 131, 144, 147, 150-152.
氣象　2, 4, 6, 10, 12, 13, 17, 20, 22, 24, 26, 28, 29, 30, 32, 34, 35, 39, 44, 46, 50, 51, 54, 56, 58, 59, 65, 66, 83, 86-88, 89-94, 131, 134, 166.
氧化還原電位　4, 114, 116, 117, 124.
針葉樹　132, 133, 138.
乾旱　4, 5, 6, 70, 83, 92, 93, 98, 99, 103, 104, 106, 109, 110, 116, 126.
區域氣候模式　10, 11, 12, 18.
深水灌溉　4, 102, 106, 107, 109, 111, 112, 118, 119, 149, 156, 158.
寒流　4, 54, 56, 64, 150.
距平　54, 56, 58, 59, 65.
量化分析　4, 27, 38, 70.
葉綠素螢光　5, 132, 133, 134, 135.
農業水資源　2, 3, 51, 159.
農業用水量　9, 20.
農業氣象　2, 4, 6, 26, 51-53, 54, 56, 59, 61, 83, 93, 94, 166.
農業灌溉用水　2, 6, 86, 116, 158, 159.
預報指引　26, 27, 35.
滲透調節物　2, 94, 96, 98, 100, 102.
精準　5, 140, 142, 144, 152.
颱風　3, 4, 22, 24, 26, 30, 31-35, 52, 72, 109.
颱風警報　4, 23, 24, 26, 30-35, 57, 63, 65.
暴雨　4, 36, 38, 51.
熱帶性低氣壓　4, 30, 31, 32, 33, 54, 56, 64, 55.
鋒面　2, 54, 55, 64.
灌溉　2, 4, 6, 8, 10, 13, 20, 86, 90, 92, 94, 102, 104, 106, 108, 109, 110-113, 116, 117, 119, 123, 126, 141, 142, 144, 146, 148, 159-162.

Index

Agricultural irrigation water 7.
Agricultural meteorology 6.
Agricultural water resource 7.
Anomaly 56, 57.
Automatic Spraying System 154, 156.
Chlorophyll fluorescence 138, 142.
Climate 20, 21, 22, 23, 94, 96, 141, 154.
Cold wave 66, 67.
Conifer tree 142.
Crop water use 96.
Deep-water Irrigation 114.
Disaster 52, 64, 66.
Drought 84, 98, 99, 103, 104, 114, 128, 130.
Drought tolerance 36.
Forecast guidance 66.
Front 66.
Global climate change 22.
Ground water refill 23.
Heavy storm 51, 52.
Hydrological model 23.
Irrigation 7, 22, 23, 92, 94, 96, 114, 128, 130, 153, 154, 169.
Irrigation demand 23.
Living water 6.
Meteorology 7, 36, 66, 96.
Moisture tension 119, 124, 130.
Multifunctional 154, 156.
North Taiwan 70, 82, 84.
Operational procedure 34, 36.
Orchard 152, 154, 156.
Osmotic regulators 104.
Photosynthetic capacity 140, 142.
Poisonous water 7.
Precision 154, 156.
Quantitative analysis 52.
Rainfall statistics 84.
Redox potential 118, 128, 124, 130.
Reflectance spectrum 169.
Regional climate model 23.
season 23, 114, 140-142, 168.
Sereve weather 36.
Soil 92, 94, 95, 96, 118-130, 168.
Soil moisture management 130.
Soluble protein 140, 142.
Spectral remote sensing 167, 169.
Stream flow 21, 23.
Sub-alpine 142.
Subtropical 52, 142.
Taiwan spruce 142.
Tropical depression 66.
Typhoon 30, 36, 52, 67.
Typhoon warning 36.
Rice 114, 116, 119, 120, 121, 123, 124, 125, 129
Water Management 114, 156, 169.
Water management and application 169.
Water resources 7, 22, 23, 51, 84, 96, 114, 168.
Water status 98, 104, 129, 166, 168, 167, 168.

統一編號
10009104120

ISBN 957-01-2649-3

00400

9789570126495

定　價：新臺幣400元